Remerciements

Depuis le moment où je suis arrivé en France, jusqu'au jour ou je rédige ces lignes, j'ai eu toujours l'aide, le soutien et l'encouragement des nombreuses personnes auxquels j'aimerais faire référence.

Premièrement, je remercie Hervé Rachat-Navarro, responsable du service SC/MM, pour les essais successives de m'intégrer au sein du groupe et pour la disponibilité par rapport à mes problèmes et inquiétudes.

je remercie spécialement Jacky Bouchard, mon maître de stage chez Michelin et un excellent pneumaticien, pour son encadrement, sa patience, son amabilité, pour m'avoir montré l'importance des aspects pas seulement techniques mais humaines dans le fonctionnement d'une entreprise et pour me faire comprendre qu'un ingénieur doit être quelqu'un avec dynamisme qui soit toujours en avance par rapport aux défis du monde du travail.

Je tiens à remercier également tous les membres du service SC/MM pour son accueil, en spécial Daniel Vetier qui m'a aidé beaucoup aux moments difficiles, m'a conseillé et m'a parfaitement introduit au monde Michelin pour réaliser toutes les démarches depuis mon arrivée au site de Carmes.

Je remercie aussi à George Dos Santos et aux autres collègues du service SC/MA pour son conseil technique dans le domaine des réseaux de terrain et sa disponibilité au moment de réaliser les essais avec leurs outils.

A tous les personnes d'ESIGELEC: Cecilia Brunel, Hélène Vincent, Catherine Duval, Sophie Houlier, Jean-Yves Ertaud et le personnel des bureau d'études. Ils ont rendu mon arrivée à cette Grande Ecole d'Ingénieurs plus facile et mon adaptation plus rapide et qui ont eu toujours un mot pour me conseiller au moment du choix du stage.

Je n'oublierai jamais toutes les personnes que j'ai eu la chance de connaître pendant ma vie française: mes voisins de la résidence du 3eme étage Momo, Ali, Patrick et le reste, mes amis espagnols Malena, Ahinoa, Pablo, Miguel, Dani, Dioni, Ruben, mes colègues français de cours...Le fait d'avoir fait des amis des toutes les nationalités a supposé pour moi une incroyable ouverture d'esprit: connaître d'autres habitudes, d'autres expériences de vie, d'autres façons de comprendre le monde... je vous remercie à tous.

Quelq'un peut penser que j'ai négligé quelques prénoms dans mes remerciements... mais non. Ils méritent d'avoir une reconaissance spéciale pour son amitié, pour son aide, pour son temps mais principalement pour son gros soutien aux moments difficiles, surtout le jour où j'ai reçu l'offre de stage Michelin. Son encouragement a été d'une importance majeure. Priscila... Hassene... Rapha... Merci.

Je veux remercier a une belle fille avec laquelle on a commencé il y a un presque une année un long chemin ensemble plein des difficultés à cause de la distance. Encarni, merci pour avoir été toujours avec moi malgré les quilomètres qui nous ont separé physiquement pendant ce temps. t'e

Finalement, j'aimerais remercier très chaleureusement mes parents pour leur soutien inconditionnel pendant pas seulement mon séjour en France, mais aussi pendant toute ma courte vie. Podria dir-vos mil coses per les quals us estic agraït, des del vostre suport, passant pel vostre patiment durant els moments en què no heu tingut noticies meues, fins als vostres ànims quan estava més trist, però crec que només amb una frase ho resumisc tot. Gràcies per ser tan afortunat de tindre-vos com pares. Us estime molt.

Table des matières

1. Introduction 5

1.1. La standardisation chez Michelin 6

1.1.1. Politique de Standardisation Michelin 6

1.1.2. La Standardisation Pneumatique à SC/MM 6

1.2. Historique du Projet 7

1.3. Contexte du Stage 8

2. Michelin 9

2.1. Présentation de Michelin 9

2.2. Culture d'entreprise 11

2.3. Le Pneu 12

2.4. Organisation 14

3. Distributeurs et Îlots de distribution pneumatique 18

3.1. Introduction 18

3.2. Inventaire Îlots distribution 24

3.3. Synthèse et cahier des charges 24

4. Réseaux de terrain 28

4.1. Introduction 29

4.2. Guide d'analyse des protocoles 31

4.2.1. Ethernet Industriel 31

4.2.1.1. Ethernet/IP 37

4.2.1.2. ProfiNET 40

4.2.1.3. Modbus/TCP – RTU 43

4.2.1.4. Ethernet Industriel Temps Réel 46

4.2.1.4.1. EtherCat 46

4.2.1.4.2. Ethernet Powerlink 49

4.2.1.4.3. Sercos 50

4.2.2. ControlNET 51

4.2.3. DeviceNET 56

4.2.4. Profibus 58

4.2.5. AS-i 63

4.3. Synthèse Protocoles 64

5. Essais 66

5.1. Configuration demandée aux fabricants 66

5.2. Plan de pose normalisé ISO15407-2: interchangeabilité 67

5.3. Essais commnunication 75

5.3.1. Connectique 76

5.3.2. Mode Test 80

5.3.3. Communication PC - Serveur Ilot de distribution 81

6. Conclusions 88

6.1. Analyse Economiques 88

6.2. Futur du marché des réseaux de terrains 89

6.3. Evolution et restrictions 89

7. Bilan 90

7.1. Bilan technique 90

7.2. Bilan personnel 90

Bibliographie 92

Annexes 94

1. Introduction

La pneumatique est la technologie qui utliise l'air comprimé comme mode de transmission de l'énergie nécessaire pour déplacer et faire fonctionner n'importe quel mécanisme.

Cette technique est une discipline fondamentale dans l'industrie au jour d'aujourd'hui. Les systèmes automatisés qui mettent en œuvre des actionneurs pneumatiques sont nombreux dans les secteurs industriels automatisés N'importe quel processus automatisé a besoin de plusieurs éléments pneumatiques.

Les avantages de son utilisation sont nombreux.Le traitement et le transport assez simples de l'air comprimé fait de ce technique un outil très approprié. En plus, l'air est propre et les composants fonctionnant sous cette énergie sont rélativement peu coûteux. Les elements qui utlise l'air comprimé n'ont pas de grands risques de déterioration pour cause de surcharge. Un autre point positif est que l'air est peu sensible aux variations de température. Enfin, les échappements d'air et les fuites ne sont que peu polluants. En général, l'utilisation de la pneumatique est idéale en milieu explosif.

Malgre ces avantages, cette technologie a aussi des inconvénients. Pour conserver la propreté de l'air et éviter l'entrée d'elements dangereux au système il faut ajouter des elements qui fournissent une filtration correcte. Les forces développées restent relativement faibles; pour des éfforts importants l'énergie hydraulique est préférable. Les échappement d'air sont bruyant; par conséquent on doit ajouter des silencieux pour éviter le bruit. La production d'air comprimé reste assez chère étant donnée qu'on ne trouve pas d'air comprimé dans la nature et l'air doit être traité par des compresseurs.

La pneumatique a des nombreuses applications dans la vie quotidienne: des perceuses à air, des outils odontologiques, dans les systèmes d'ouvertures des portes des trains, dans les amortisseurs des voitures...

Dans les différents domaines de l'industrie qui font partie du processus productif chez Michelin, un de plus importants sans aucune doute c'est celui de la pneumatique. Elle est présente tout au long de la fabrication du produit final. En fait, environ 60% des actionneurs, par exemple vérins, distributeurs, electrovannes ou régulateurs de pression ont une relation directe avec la pneumatique.

Depuis quelques années l'apparition des nouvelles technologies de l'information a revolutionné le monde de l'automatisation industrielle en géneral, et celui de la pneumatique en particulier. Les besoins de communication, de plus en plus exigeants, entre les outils de contrôle industriel (automates programmables industriels) et les élements intervenants dans le processus de fabrication ont fait développer des solutions spécifiques dans le monde des réseaux locaux. On parle de la création du concept «réseaux locaux industriel». Les hauts niveaux de performance de ce type de réseaux ajoutés aux garanties de sécurité qui offre les implementations actuelles ont franchi la barrière toujours difficile de l'accès au monde de l'industrie.

1.1. La Standardisation chez Michelin

La standardisation dans le contexte de l'industrie et des technologies est le procédé par moyen duquel on établit une spécification techinque, appelé un standard, entre les fabricants d'un marché. Ce procédé peut être vu comme un mécanism pour l'optimisation des ressources economiques.

Il faut pas se confondre avec la normalisation, qu'est le fait d'établir des normes et standards industriels, c'est-à-dire un référentiel commun et documenté destiné à harmoniser l'activité d'un secteur. Elle est réalisée par des organismes spéciales qui sont le plus souvent soit des organismes d'Etat soit des organisations créées par les professionnels d'un secteur d'activité donné comme ISO, VDMA ou CNOMO.

1.1.1. Politique de Standardisation Michelin

Dans le cadre du plan «Horizon 2010» mis en place chez Michelin un des objectifs prioritaires est la réduction des coûts de production.

Pour aboutir ça, un des sujets les plus important est d'ataquer au coeur de la fabrication d'un pneu, c'est à dire, la machine qui produit le pneu étant donnée la grandeur de l'investissement que l'entreprise réalise sur son parc des machines. Michelin a pris la décision d'une politique de «design-to-cost», c'est à dire, faire des nouvelles études sur les machines anciennes et actuelles de manière qu'on réduit les coûts de développement et construction.

Par conséquent, on s'est rendu compte qu'il fallait utiliser des composants moins chers et qui réalise la même fonction par rapport à un cahier des charges donnés. La solution: arriver d'ici à quelques années à une utilisation des composants standards presque du 63%. C'est un gros défi, mais les résultats de cette standardisation est très encourageant pour y arriver a une réduction des coûts et, donc, une augmentation du bénéfice général.

1.1.2. *La Standardisation Pneumatique à SC/MM*

Maintenant on va décrire le procédé de standardisation dans le domaine pneumatique. La standardisation pneumatique est un processus complexe par rapport au temps (environ 6 mois) et aux étapes nécessaires pour le completer (voir fig. 1.1) .

D'abord, pour déclencher un étude de standardisation il faut qu'il éxiste une demande réelle de ce qu'on veut standardisé. En plus, on doit observer une evolution des composants, des coûts et des normes existants. Finalement on analyse ce qu'il éxiste au marché au moment du début.

Après ce premier pas commence le travail que conduira au pré étude. Il faudra donc présenter le phenomène qui déclenche la future standardisation. Ensuite, la consultation des normes ISO, VDMA ou CNOMO reste incortournable; les produits et elements analysés doivent rester toujours d'accord avec les normes pour entrer chez Michelin.

Une fois pris en compte les normes et les produits existants, on rédige un cahier des charges avec les spécifications qu'on considère. Ce document est envoyé aux fabricants pour connaîtres quels sont capables de répondre aux besoins Michelin.

Alors, on est prêt pour rédiger le pré étude avec tous les conclusions. Mais ce n'est pas ici qu'on a fini la standardisation. Ce document est envoyé vers la filière de compétence pour une demande d'approbation. Si à la suite de cette demande, la majorité des membres de la filière de compétence est d’accord la rédaction de la décision de standardisation des composants impliqués peut démarrer.

Après la réalisation de la décision de standardisation, il reste un vaste et lourd travail à réaliser: création des cartes d'identité de chaque produit, réalisation d'un cahier des charges pour la bibliothèque des composants Michelin, réalisation d'une fiche technique pour chaque composants...

Finalement, les produits standardisés reste disponible pour tous 1500 utilisateurs du groupe Michelin monde et les 500 sous traitants extérieurs, ils sont répétoriés dans les nomenclatures du Groupe, ils sont disponibles aussi pour les acheteurs et ils peuvent être même remplacés avec le code Michelin sous le système qui gère les pièces de rechanges.

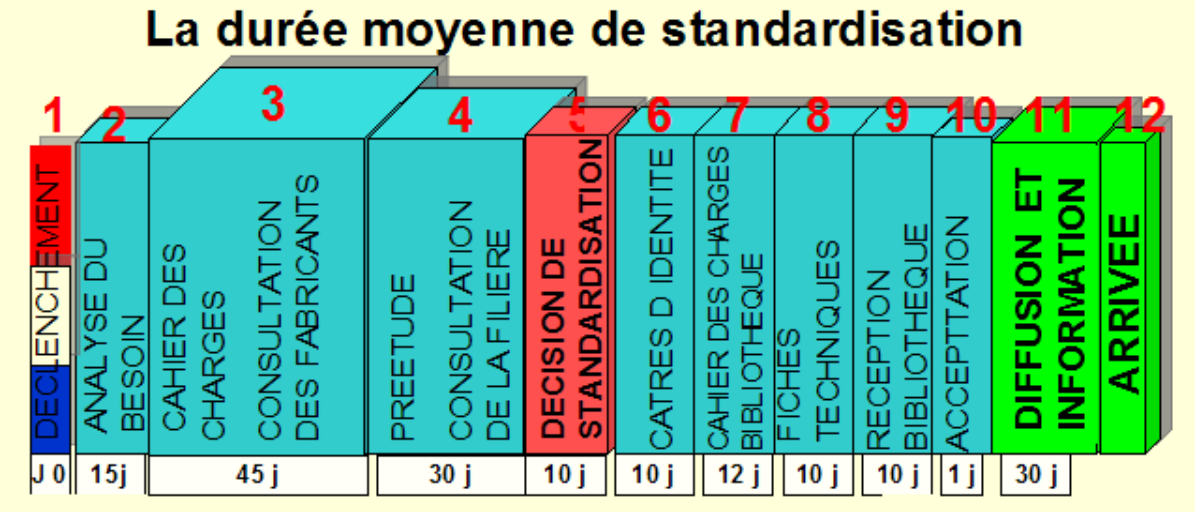


Fig. 1.1 - Etapes et durée de la standardisation pneumatique

1.2. Historique du Projet

Suite au dernier étude de standardisation pneumatique en 2001 réalisé par Daniel Vétier et Alain Astier, l'îlot de distribution HF03 (voir fig. 1.2) de Bosch-Rexroth a été retenu comme standard Michelin.

Par rapport aux réseaux de terrain, le protocole DeviceNet a été choisi pour la communication entre les API et les elements de distribution pneumatique. Il faut ajouter, qu'à cette époque Bosch offrait aussi la possibilité du protocole CompoNet. Malgré ces possibilités, le fil à fil classique restait possible avec l'option de rajouter un module Sub-D 19 ou 25 broches.

Fig. 1.2 – Îlot de distribution HF03 BOSCH-Rexroth

1.3. Contexte du Stage

La standardisation est un procédé qui reste ouvert à l'evolution des composants et normes existants. Par conséquent, il faut réaliser un étude de standardisation avec certaine periodicité.

Les changements des marchés et l'apparition des nouvelles générations des composants plus développées et adaptées déterminent une période de 5 ou 6 ans pour la réalisation d'un nouvel étude.

L'existances des normes ISO 15407-2/1, ISO5599-2/1, VDMA et CNOMO par rapport au plan de pose normalisé dans les distributeurs pneumatiques, et l'importance de plus en plus grande des îlots de distribution avec module bus de terrain dans l'automatisation ont été les lignes principales sur lesquelles le stage s'est développé.

Le résultat du travail réalisé dans cette période est le document qui correspond au pré étude de standardisation des îlots de distribution pneumatique en réseau.

2. Michelin

La Manufacture Française de Pneumatiques Michelin (MFPM) est une entreprise mondiale née à Clermont-Ferrand grâce à André et Edouard Michelin qui créent Michelin et Cie en 1889. Depuis plus d’un siècle Michelin est une société au service de la mobilité: le développement du premier pneu démontable en 1891, le premier automobile équipé des pneus en 1895, la construction d’avions pour la Premier Guerre Mondiale en 1910, la participation au domaine du train avec la «Micheline» en 1931 ou le dépôt du brevet du pneu radial en 1946 sont quelques exemples du parcours historique de l’entreprise. Un évènement très important a lieu en 1898 avec la naissance de Bibendum. Cette mascotte est devenu l’image inséparable du manufacturier par toute la planète.

2.1. Présentation de Michelin

Michelin a comme principale activité la conception, développement, fabrication et distribution du pneumatique. En plus elle développe tout un ensemble des services liés à la mobilité comme des cartes et guides, ViaMichelin, des services aux transports et une ligne des produits non liés au pneumatique sous le nom de Michelin LifeStyle.

Michelin a une implantation internationale sur les 5 continents avec une présence commerciale dans plus de 170 pays et une activité industrielle développe dans les 68 sites de production dans le monde (voir Fig. 2.1). L'entreprise a un centre de technologies distribué sur 3 sites: Amérique du Nord, Europe (Ladoux – Clermont-Ferrand) et Japon. En plus, deux plantations d'hévéas au Brésil complète l'ensemble des localisations Michelin dans le monde.

Fig. 2.1 – Implantation Industrielle Michelin

Une structure si grande que Michelin a besoin d'un grand nombre de salariés pour être présent tout au long des 5 continents. L'effectif humain de l'entreprise compte sur 115 755 personnes dont la plus part est embauchée en France. A titre d'example on peut remarquer que le siège social réunit environs 13.000 salariés dans les différents sites situés à Clermont-Ferrand.

Michelin réprésente aujourd'hui un groupe dans lequel il éxiste plusieurs marques en plus de la principale. L'établissement a organisé ses gammes de produits autour d'une offre multimarque pour répondre d'une façon plus adaptée aux différents marchés et segments des clients. Michelin et BFGoodrich sont présentes tout à travers du monde, par contre Kleber a un marché plus ciblé en Europe; Taurus développe la spécialité pneu agricole; Pneu Laurent est chargé des pneus rechapés, etc.

Par rapport aux chiffres clés de l'entreprise, en 2006, MFPM a produit 190 millions de pneumatiques répartis dans toutes ses gammes et a imprimé 15 millions de cartes et guides. Par ailleurs, le chiffre d'affaires de 16,4 milliards d'euros[1] dans l'ensemble de 2006 et les résultats très positifs du premier semestre de 2007 de 8,402 milliards d'euros[2] montre la dimension de Michelin dans le marché mondial du pneumatique, surtout dans Europe et Amérique du Nord où le chiffre d'affaires est plus élevé. La croissance des puissances

---

1 Ventes nettes avant charges

2 On peut consulter ces résultats ici: (http://www.michelin.com/corporate/front/templates/affich.jsp?codeRubrique=32&codePage=PAG_RES_1&lang=FR)

asiatiques reste un futur champ de déploiement de la vente des produits Michelin. On peut observer l'évolution du chiffre d'affaire dans la Fig. 2.2.

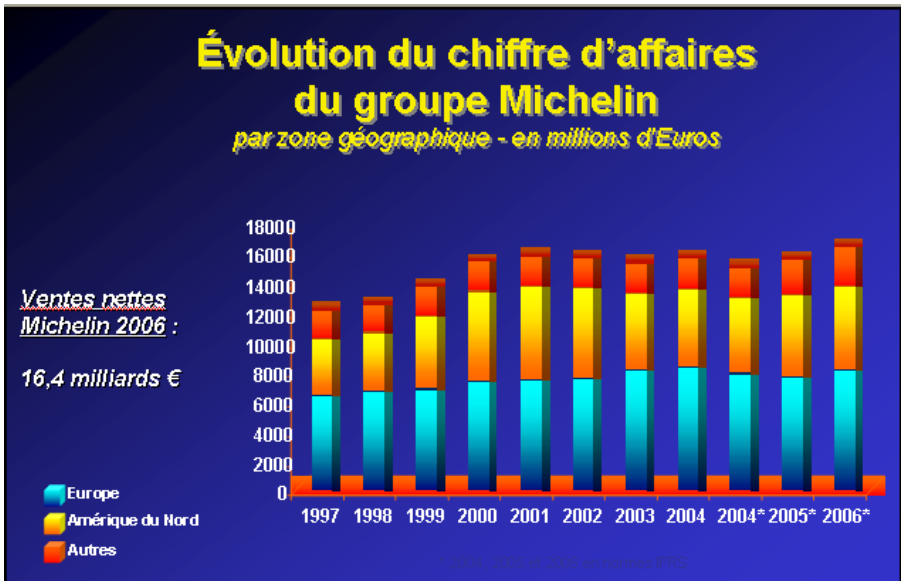


Fig. 2.2 - Evolution du chiffre d'affaires Michelin

Michelin est placé comme le deuxième manufacturier de pneumatique du Monde avec un quota de marché du 17,7%.

2.2. Culture d'entreprise

La société octroie une importance majeure au développement de sa culture d'entreprise autour de la mobilité et de son savoir-faire dans le domaine du pneumatique et aussi à son image de marque.

La mission de Michelin est de **contribuer au progrès de la mobilité** des biens et des personnes, en facilitant la liberté, la sécurité, l'efficacité et aussi le plaisir de se déplacer. Le groupe montre cette idée toujours avec son image institutionnelle par moyen du slogan **«Une meilleure forme d'avancer»** traduit aux toutes les langues des pays où Michelin est présent pour renforcer le caractère mondial de l'entreprise.

Le Groupe Michelin appuie son développement sur cinq valeurs :

- respect des clients: ils sont le coeur du métier chez Michelin. L'évolution dépend de la capacité de satisfaire le client dans le temps.

- respect des personnes: essayer de rester harmonieux avec tous les participants dans la croissance et l'expansion de l'entreprise, c'est à dire, s'integrer dans la société où Michelin est présent.

- respect des actionnaires: aboutir un niveau de bénéfice suffisant pour recompenser la prise de risque et l'investissement de l'actionnaire.

- respect de l'environnement: mettre en place toutes les mesures nécessaire pour obtenir une mobilité durable.

- respect des faits: garder une exigence d'objectivité et d'honnêteté intellectuelle est une condition incontournable au progrès.

La stratégie de l'entreprise est composée de cinq orientations qui dirigent sa politique industrielle ver l'expansion et la croissance. Ces orientations sont coherentes avec les valeurs déjà nommées.

I. Mettre le savoir-faire et la passion pour le métier du pneu au service de la mobilité. Demeurer l'entreprise la plus innovante dans les domaines du pneu, de la liaison au sol et des services associés

II. Offrir aux clients la meilleure qualité de produit et de service, au meilleur prix, dans chaque segment de marché que l'on décide de servir.

III. Chercher la croissance et l'épanouissement des personnes dans l'exercice de leurs responsabilités. Développer la diversité et humaine de l'entreprise.

IV. Accroître durablement la valeur de l'Entreprise en maximisant la rentabilité des activités et des investissements.

V. Être une entreprise harmonieusement intégrée dans la Société. Exercer pleinement les responsabilités du groupe en pratiquant ses valeurs.

L'image et la communication sont des aspects essentiels du manufacturier français. Depuis les premiers pas de la société les frères Michelin ont donné une importance très forte à la publicité des produits. Le réprésentant le plus évident de ce fait est Bibendum.

Créé à l'issue de l'imagination des frères Michelin et des pinceaux d'O'Gallop, le bonhome est indissociable de la marque Michelin depuis plus d'un siècle. La figure de Bibendum est le mieux identifiant du Groupe. Il est chargé, toujours avec sourire et bonne humeur de promouvoir les produits et de les faire valoir. Mais la mascotte a evolutionné avec le temps et avec les changements au sein de l'entreprise. Les premiers affiche de Bibendum montre une image agressif laquelle sert à communiquer les caracteristiques de resistance et fiabilité des premiers pneus. Cependant, les dernières evolutions du bonhome montrent une image aimable, sympathique et plus stylisée pour s'adapter à l'époque actuelle où Michelin a mis en place des valeurs des respects et de développement durable

Fig. 2.3 - Evolution de Bibendum depuis sa création jusqu'aujourd'hui

2.3. Le Pneu

Le principale domaine d'action chez Michelin est le pneumatique. Sa fabrication est le métier du manufacturier. En plus, le savoir-faire du Groupe est réprésenté tout au long du procédé du dévéloppement d'un pneu.

La première observation d'un pneu montre une forme ronde en caoutchouc, mais malgré cette simplicité apparente, le pneumatique est un produit complexe de haute technologie. Plus de 200 composants entrent dans sa composition, se répartissant en cinq familles:

- caoutchouc naturel, composant principal des bandes de roulement des pneus poids lourd
- caoutchouc synthétique, élément essentiel des bandes de roulement des pneus tourisme ;
- noir de carbone et la silice, utilisés comme charge renforçante pour accroître notamment la résistance à l'usure et, pour la silice, l'efficacité énergétique ;
- câbles textiles et métalliques, qui constituent le squelette du pneu et lui permettent de résister aux sollicitations rencontrées au cours de sa vie ;
- différents agents chimiques nécessaires pour conférer au pneu des propriétés particulières.

En plus, si on coupe un pneu pour regarder la structure (voir Fig. 2.4), on peut mieux comprendre la complexité inhérente au produit. Le pneu est composé d'un ensemble des

couches et elements avec lesquelles il doit répondre a un certain nombre des caracteristiques: adhérence, comportement routier, confort, , efficacité énergétique et prix de revient kilométrique.

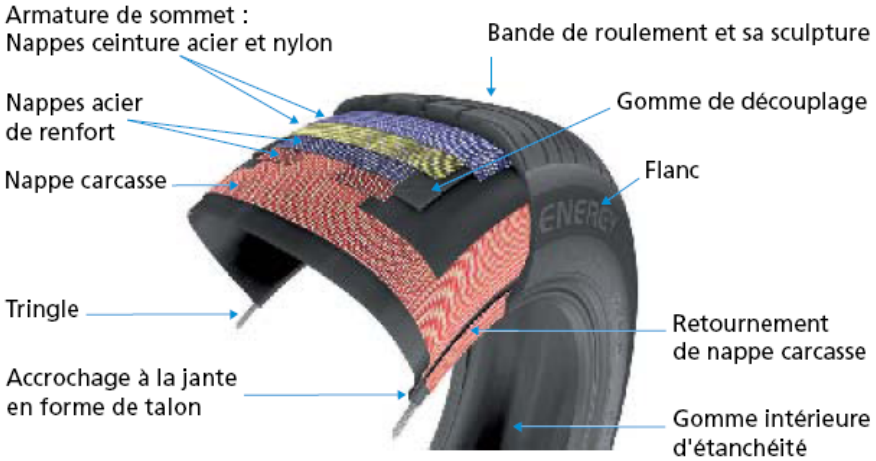


Fig. 2.4 - Structure interne d'un pneu

La contribution du pneumatique à la mobilité et au transport est tellement important que ce produit doit assurer de multiples fonctions: rouler, porter la charge du véhicule, assurer le guidage, transmettre les couples moteurs et freineurs, amortir les irrégularités du sol, tout en dissipant le moins d'énergie possible. Seul point de contact entre le véhicule et la chaussée, la place qu'il tient dans la sécurité du véhicule et de ses passagers est essentielle. En plus, si on veut assurer une performance industrielle par rapport aux clients un pneumatique doit avoir une vie aussi long q possible, c'est à dire, il doit durer.

La complexité du pneumatique impose des procédés de fabrication d'une grande précision. L'obtention systématique du niveau de qualité visé repose sur un contrôle très strict de multiples paramètres. Le système Michelin de suivi de la qualité est appliqué avec la même rigueur dans toutes les usines du Groupe, pour garantir un niveau constant, quels que soient le lieu de fabrication et la marque sous laquelle le pneumatique est commercialisé. La qualité est un métier réalisé par des salariés qui contrôle par moyen des techniques les plus modernes et performantes l'assurance des standards qualité Michelin.

2.4. Organisation

Chaque type de pneu à des caractéristiques propres qui le font différent des autres. Par conséquent on doit mettre en place une structure laquelle soit dédiée en exclusivité aux besoins concrets du produit.

Michelin développe des **Lignes Produits (LP) pour chacun de ses produits**. Chaque LP élabore, déploie et met en oeuvre la stratégie mondiale de sa famille de produits. Les LP sont chargés de fournir le produit fini aux marchés. Les plus importantes de l'entreprise par volume de production et demande sont la LP **Tourisme Camionnette** et la LP **Poids Lourd**.

Chacune de ces deux LP ont ainsi une structure appelé **Unité Opérationnelle Tactique** (UOT) qui a pour mission analyser les marchés de son type de pneu et alors

essayer de déceler les opportunités et proposer une stratégie à sa Ligne Produit. En plus chaque UOT doit développer, fabriquer et commercialiser sa catégorie de produits et, finalement, garantir la performance de ses produits. Il faut remarquer que les UOT ont une importance très grande parce qu'elles regroupent tous les acteurs impliqués chez Michelin (marketing, développement, fabrication et vente) et elles décident, par exemple, de la déclinaison des gammes et de la programmation et du déploiement de leurs capacités industrielles.

Les spécialités ont leurs LP, c'est-à-dire, les pneus d'avion, génie civil, deux roues et composants. Ces gammes de produits sont sous la responsabilité de la Direction de la Ligne Produit de Spécialités.

Pour les autres activités qui n'ont pas une relation avec la fabrication d'un pneu on n'a pas une LP comme antérieurement mais on développe aussi une **ligne qui est dédié aux autres services** tellement importants chez Michelin comme les Cartes et Guides, ViaMichelin et Michelin Lyfestyle Ltd.

La distribution et commercialisation fait partie aussi de l'entreprise. L'organisation dispose des réseaux de vente, distribution et services liés au pneu: **Euromaster** pour l'Europe et **TCI** pour l'Amérique du Nord.

Le Centre de Technologies Michelin, pôle de Recherche et Développement du Groupe, comprend trois établissements principaux situés en France, aux États-Unis et au Japon. Le centre doit générer et matérialiser les innovations technologiques en associant produit et procédé et mettre des compétences scientifiques et techniques au service des Unités Opérationnelles Tactiques et, par conséquent, des LP.

Le support fonctionnel est assuré par dix services Groupe: Achats, Audit, Environnement et Prévention, Finance, Institutionnel et Communication, Juridique, Personnel, Qualité et Organisation, Supply Chain, Systèmes d'Information. Plus récemment créées, les **Directions de la Performance Industrielle** (DPI) et de la Performance Marketing et Ventes expertisent les meilleures méthodes dans leur spécialité, définissent le standard Groupe et généralisent son application partout dans le Monde.

Enfin, la cohérence des politiques et des plans d'action du Groupe est assurée au niveau régional par cinq structures "Zones Géographiques" en Europe, Amérique du Nord, Amérique du Sud, Asie-Pacifique et Afrique/Moyen-Orient.

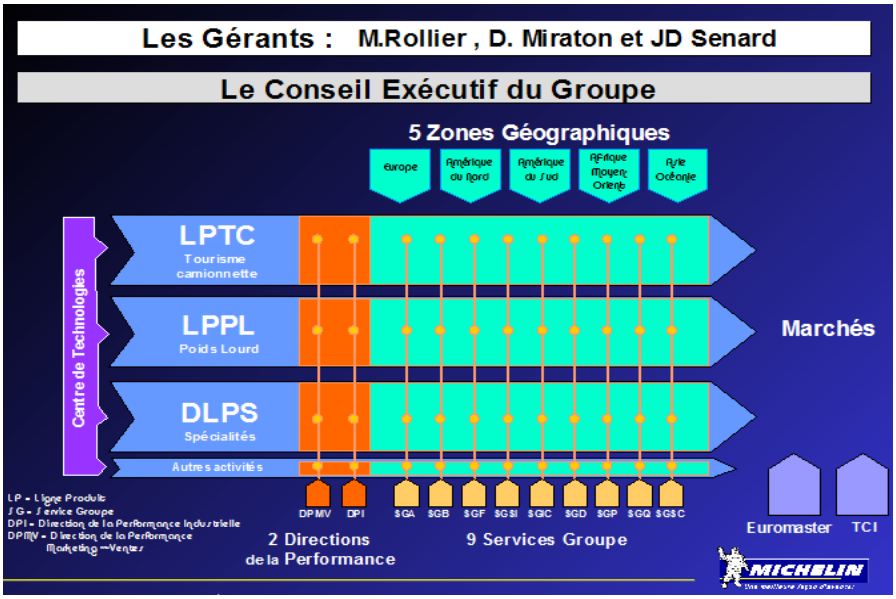
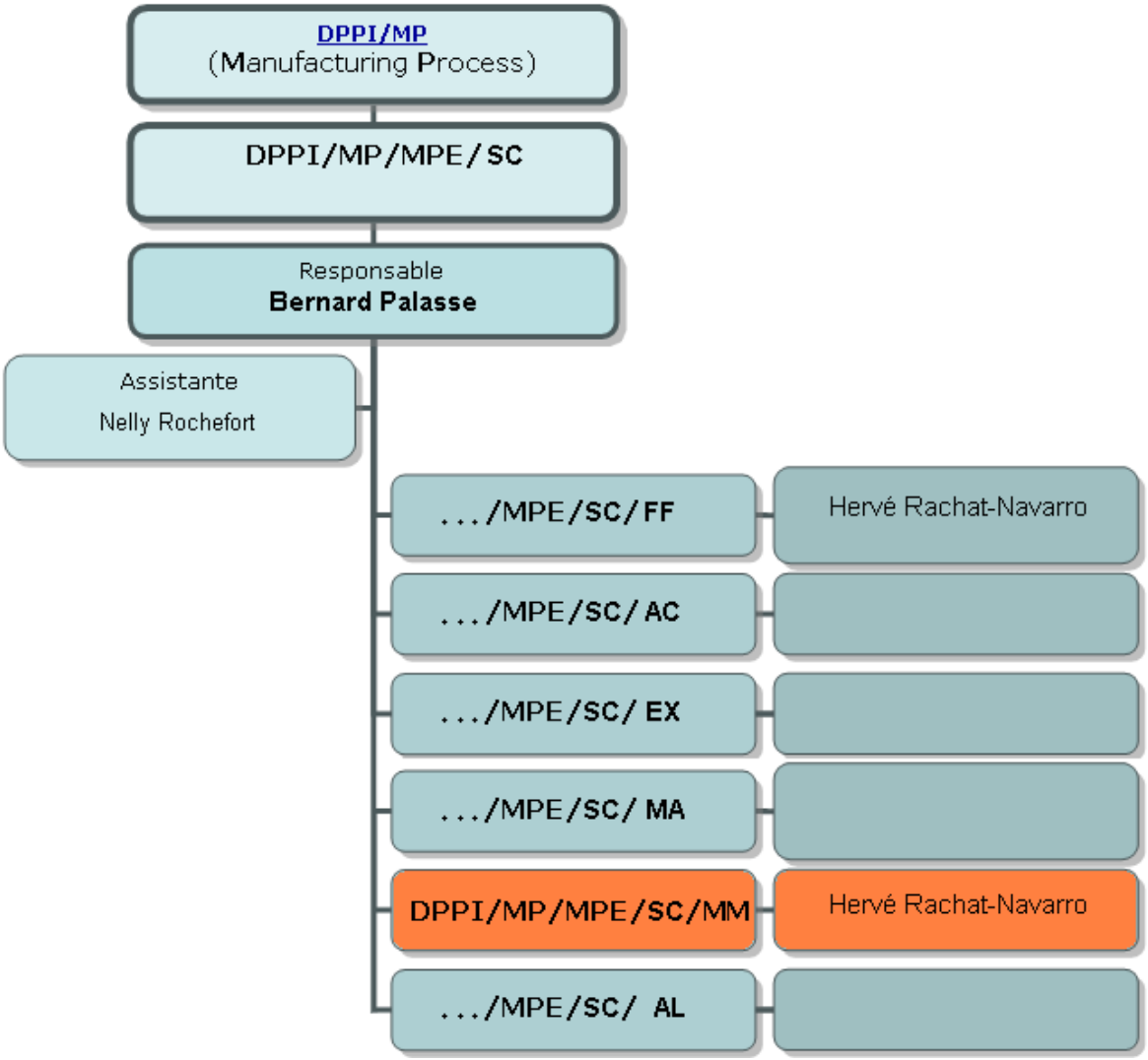


Fig. 2.5 - Vision globale de l'organisation Michelin

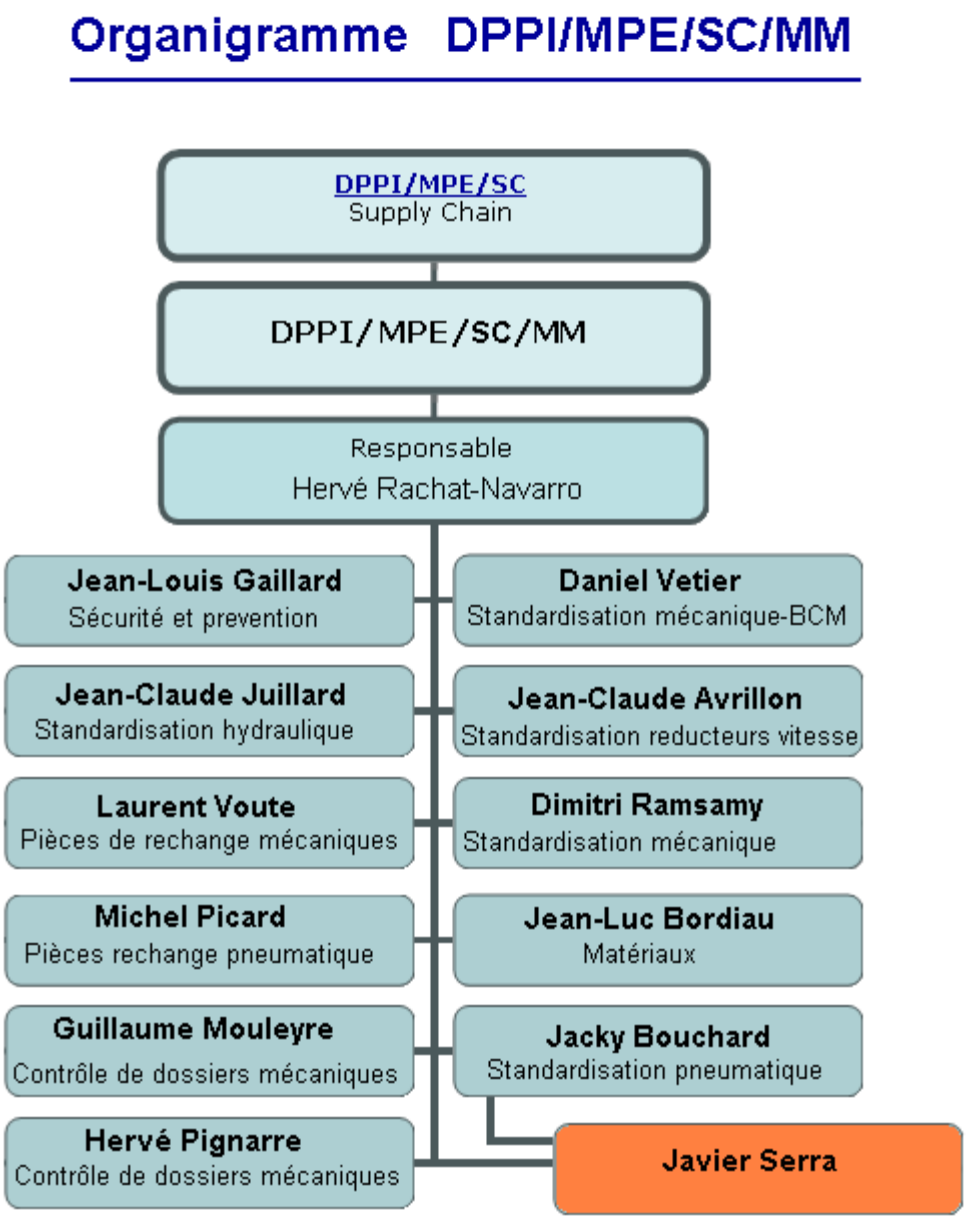
Le cadre de ce stage a eu lieu dans une des deux directions chez Michelin, concrètement au sein de la DPI. Le nom de cette direction est en train de changer de DPI à DPPI à cause de la restructuration mise en place à partir de Septembre 2007.

A continuation on montre les organigrammes depuis le niveaux plus haut jusqu'au niveau où le service DPPI/MP/SC/MM (Méthodes Mécaniques) est situé.

Organigramme DPPI/MPE/SC



Le stage s'est développé principalement au service SC/MM (Méthodes Mécaniques). Cependant, Il a existé un dialogue constant avec le service SC/MA (Méthodes Automatiques), en concret avec George Dos Santos, chargé de la standardisation des automatismes et réseaux



SC/MM est le service dédié à la standardisation mécanique. En plus, les membres de Méthodes Mécaniques ont une fonction d'aide et assistance technique dans son domaine de compétence à l'ensemble du Groupe. Un analyse plus approfondi donne comme résultat le classement des salariés de ce service en trois lignes de travail: la gestion des pièces de rechange mécaniques chargée de la codification des pièces et P01, la standardisation mécanique proprement qui réalise les études de standardisation des composants, et, finalement, le contrôle de dossiers mécaniques dont la fonction principale est l'analyse et amélioration des dossier des machines industrielles.

Hiérarchiquement, je suis placé sous la responsabilité de Jacky Bouchard, chargé de la standardisation pneumatique et aussi d'Hervé Rachat-Navarro, responsable du service SC/MM

3. Distributeurs et Îlots de distribution pneumatique

Dans ce point on présent les distributeurs pneumatiques, les îlots de distribution et leur rapport avec les normes ISO15407-2. En plus on réalise l'inventaire de l'état du marché dans le moment de la rédaction du pré étude de standardisation pneumatique. Finalement on extrait une synthèse des solutions affichées dans l'inventaire et on crée un cahier des charges avec les spécifications pour retenir les fournisseurs les mieux positionnés.

3.1. Introduction

Un distributeur pneumatique est un appareil qui sous l'action de l'air permet d'ouvrir et de fermer un ou plusieurs circuits pneumatiques. L'action de l'air déplace un clapet ou un tiroir et oriente le passage de l'air.

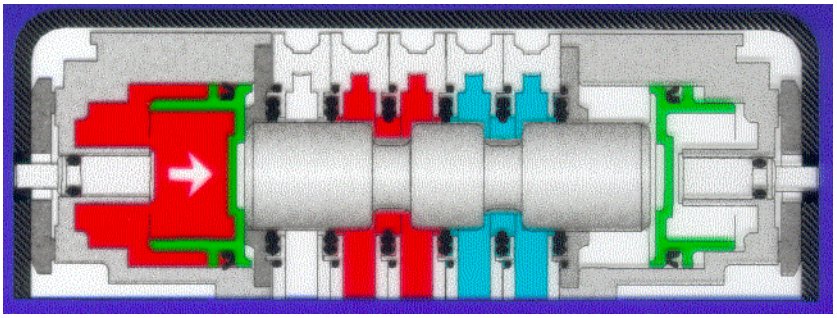


Fig. 3.1 - Distributeur à tiroir

La fonction habituelle qu'un distributeur développe est la de distribuer l'air dans des canalisations qui aboutissent aux chambres des vérins. On peut dire qu'un distributeur pneumatique est le pré-actionneur associé à un vérin pneumatique dans plusieurs ocassions.

La représentation d'un distributeur s'effectue à l'aide de cases. Il y a autant de cases que de positions possibles. A l'intérieur des cases, on représente les voies de passage de l'air pour chacune des positions. Ces voies ont chacune un nombre que représente le role des voies dans le distributeur (voir fig. 3.2)

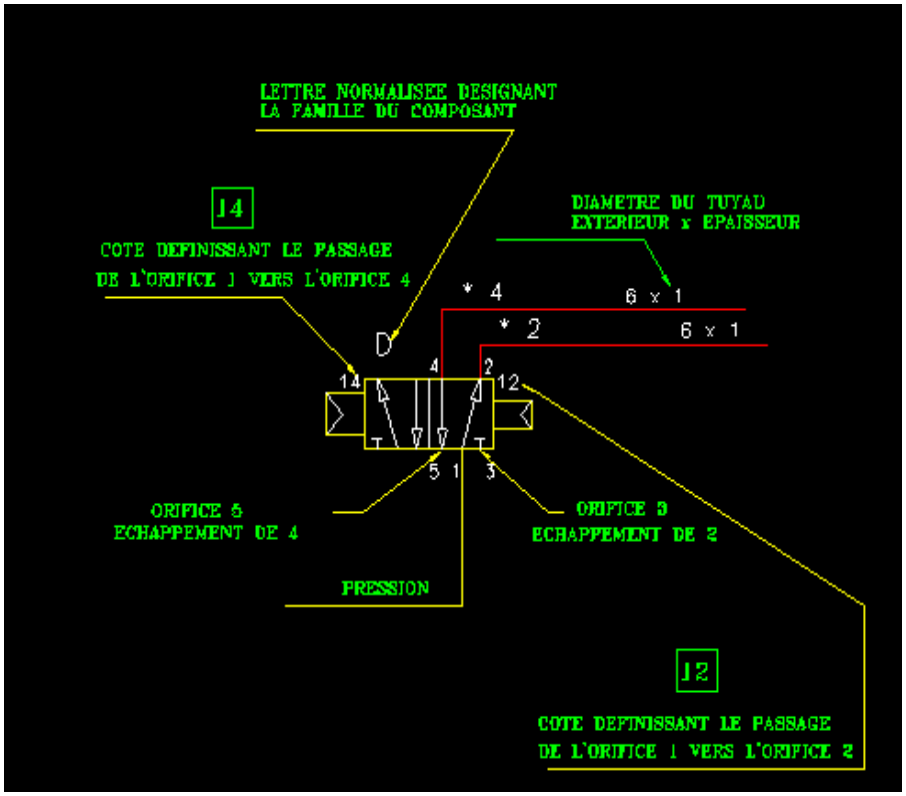


Fig. 3.2 - Nomenclatures des voies d'un distributeur

Pour caractériser un distributeur, il faut définir le nombre de voies ou d'orifices ainsi que le nombre de positions (exemple distributeur 3/2 : ce distributeur comprend 3 orifices et 2 positions) On obsèrve la nomenclature des distributeurs dans la suivant figure.

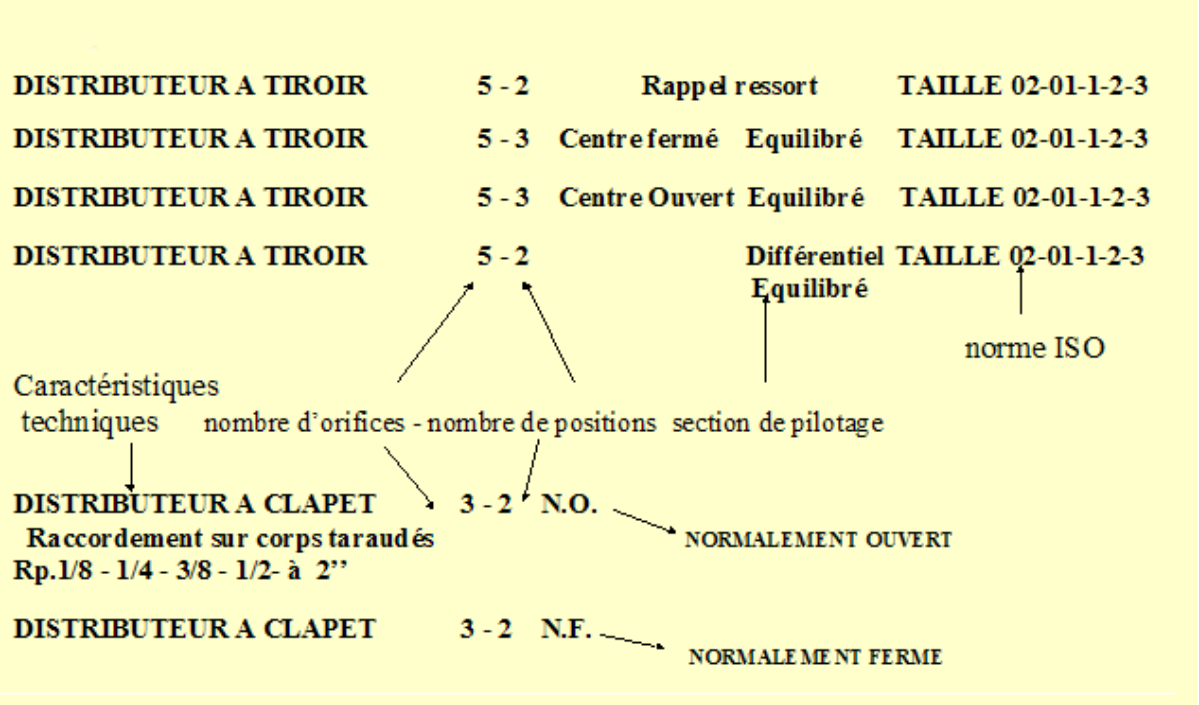


Fig. 3.3 - Schéma des nomenclatures de distributeur réalisé par J. Bouchard

Par rapport au pilotage des distributeurs il éxiste plusieurs types. D'abord, on trouve deux types de distributeurs: monostable, le distributeur est rappelé dès la disparition du signal de pilotage ou bistable, le distributeur garde sa position en l'absence de signal de pilotage (fonction mémoire). Le pilotage peut être réalisé de trois façons: pneumatique, électrique ou manuel. Dans le cadre de ce stage on a étudié les distributeurs piloté électriquement et aussi, l'utilisation des commandes manuelles. Les commandes manuelles auxiliaires facilitent les interventions de mise au point sur les machines.

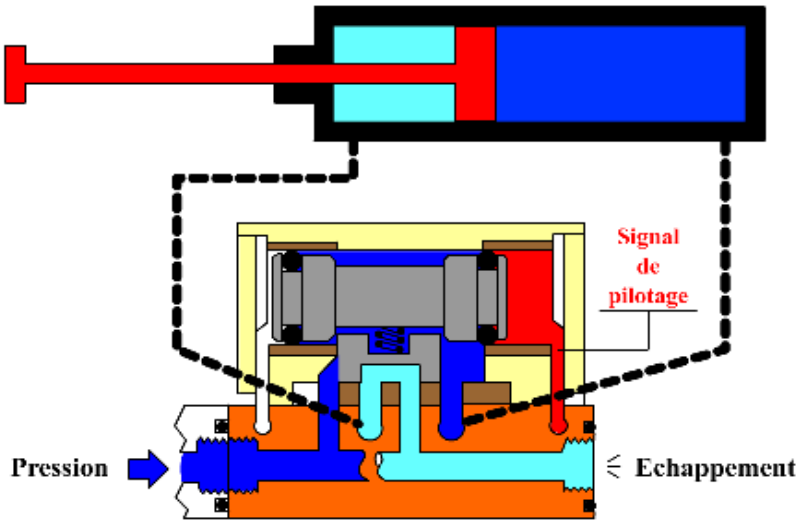


Fig. 3.4a - Etape d'alimentation d'air d'un vérin pneumatique

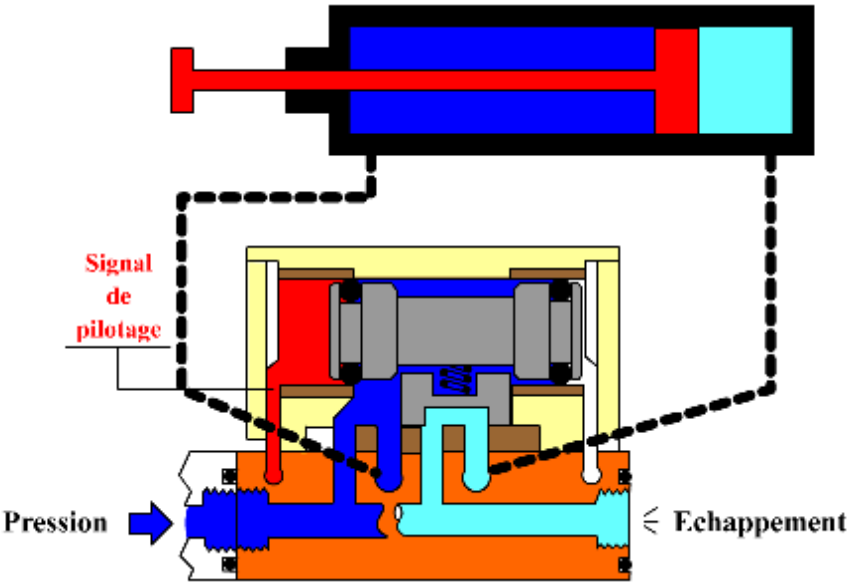


Fig. 3.4b - Etape d'echappement d'air d'un vérin pneumatique

Les distributeurs pneumatiques sont installés sur des embases avec plan de pose normalisé selon différents normes ISO. Les normes relationnées avec la distribution pneumatique et les embases sont ISO5599-2, ISO5599-1, ISO15407-1 et ISO15407-2. Elles définissent les taille des distributeurs et des embases et aussi les tailles et le dessin des orifices de l'embase. Les normes ISO15407 et les ISO5599 ont des différences par rapport à la taille, et par conséquent, au débit du distributeur. Les tailles les plus grandes (tailles 1, 2 et 3) sont présentes dans la norme ISO5599, tandis que les tailles les plus petites (tailles 01 et 02) sont définies dans la norme ISO15407-2 (voir fig. 3.5).

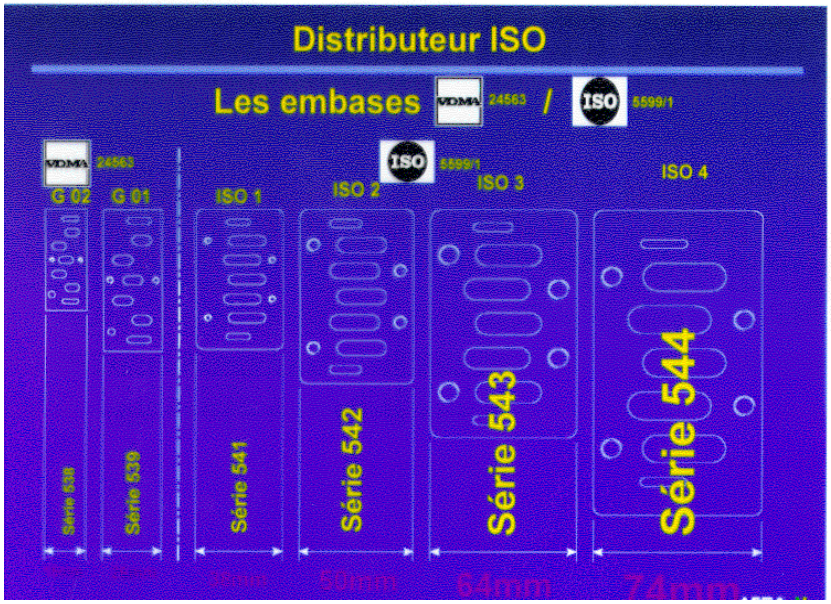


Fig. 3.5 - Schéma du plan de pose normalisé pour les normes ISO

Ces normes ajoutent, en plus, le plan de pose électrique avec une connexion standard M12 au distributeur et à l'embase (voir figs. 3.6 et 3.7).

Fig. 3.6 - Vue du plan de pose normalisé avec connectique M12 pour embase

Fig. 3.7 - plan de pose normalisé avec connectique M12 pour distributeur

Un îlot de distribution est un ensemble composé de deux parties. D'un côté un nombre d'embases determiné où ajouter les fonctions pneumatiques avec les echappements d'air tous dans la même direction. D'autre côté une configuration des modules électriques, des modules des communication réseaux de terrain et des modules E/S pour réaliser le pilotage des distributeurs et remonter les informations d'état ou dagnostic vers les elements de contrôle industriel et automatismes.

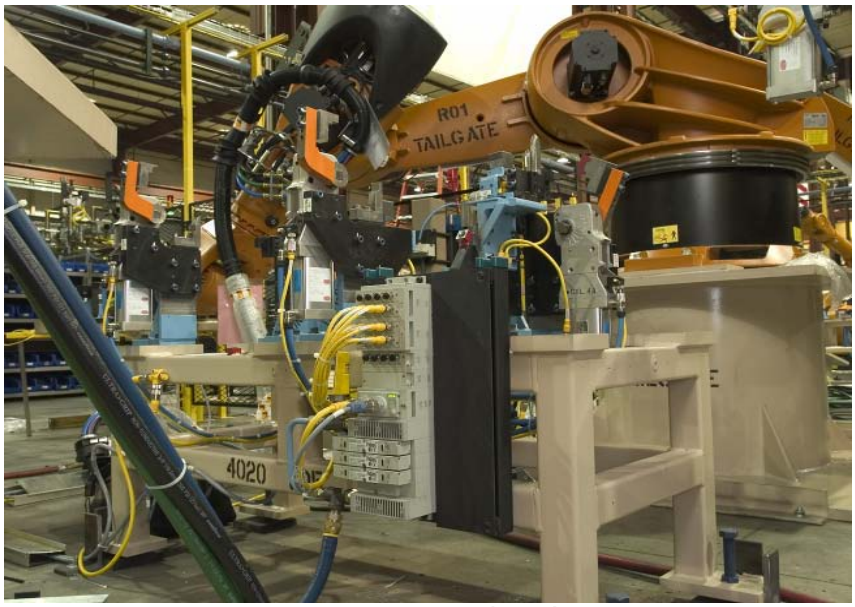


Fig. 3.8 - Ilot de distribution à côté d'un robot

L'avantage des îlots de distribution est la réduction de l'encombrement des fonctions pneumatiques, par example, dans un coffret ou on met 50 distributeurs isolés, on peut mettre 10 îlots de distribution avec 32 bobines chacun, ce qui réduit considerablement l'espace utilisé pour les elements pneumatiques. En plus, l'utilisation des modules bus de terrain permet une réduction des câblages et une majeur efficacité pour les mécanismes de contrôles et remontée d'information.

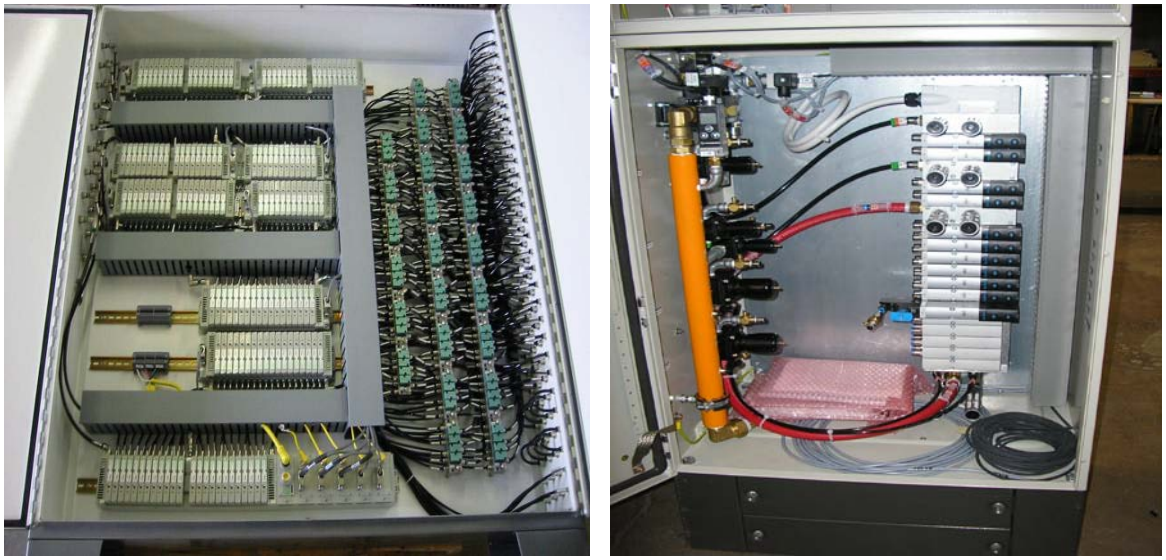


Fig. 3.9 - Ilot de distribution avec 150 bobines dans un coffret et distributeurs isolés

3.2. Inventaire des îlots de distribution

La méthodologie pour la réalisation de l'inventaire a été basé sur le document réalisé dans le dernier étude de standardisation pneumatique. La principale documentation utilisée a été les catalogues en ligne sur les sites web des fabricants et quelques catalogues des produits disponibles au service SC/MM.

Par rapport aux fabricants, on a choisi les mêmes qu'en 2001 sauf Mac Valve parce qu'aujourd'hui cette société n' a pas une solution ISO pour les distributeurs pneumatiques. Au dernier moment on a ajouté les entreprises SMC et BOSCH-Rexroth suite aux présentations pendant les visites chez Michelin des lignes ISO15407-2 de ces fabricants. Il faut remarquer que la gamme de distributeurs VSR8-VSS8 de SMC n'apparaît pas dans son catalogue en ligne et par conséquent, malgré les explications des representants on ne peut pas avoir la sécurité que ces produits ne soient pas un ancien dessin et ils soient fabriqués actuellement.

Pour consulter l'inventaire voir annexe 1.

3.3. Synthèse et cahier des charges

Suite à l'inventaire réalisé on peut extraire les suivantes conclusions par rapport à chaque fabricant d'îlots de distributeurs pneumatiques.

Après cette synthèse on a rédigé un cahier des charges que comprend les caracteristiques demandés pour la standardisation pneumatique. Ce document a été envoyé aux fabricants pour obtenir une réponse de sa solution par rapport aux besoins chez Michelin.

En plus, on a réalisé un tableau pour résumer l'offre bus de terrain de chaque fabricant et sa solution.

Pour consulter le cahier des charges et la grille des protocoles voir annexe 2 et 3.

FESTO

FESTO est le fabricant le plus proche aux spécifications établies par rapport à la standardisation des îlots de distribution. Avec le terminal de distribution on peut configurer toutes les fonctions de distribution typiques 5/3, 5/2 bistable, mono ressort, pneu, 2x3/2 NF/NO et NO-NF. Il éxiste aussi le joint du plan de pose normalisé et une filtration de l'air de 40 µM. Comme la vaste majorité des solutions îlots distribution le tiroir est la technique de distributeurs choisie.

Proposition de l'îlot VTS44 comme produit normalisé. Schéma distributeur - régulateur - embase faisable. On peut melanger les deux tailles 01 et 02 dans le même îlot en utilisant un embase pour deux distributeur taille 02.

Par contre FESTO ne propose pas des solutions ControlNet. La solution Ethernet/IP est disponible avec les modules CPX. DeviceNet et Profibus font aussi partie de l'offre bus de terrain FESTO. Pour ajouter la fonctionnalité bus de terrain il faut avoir le terminal CPX qui fournit les modules réseau et E/S, et aussi la modularité électrique.

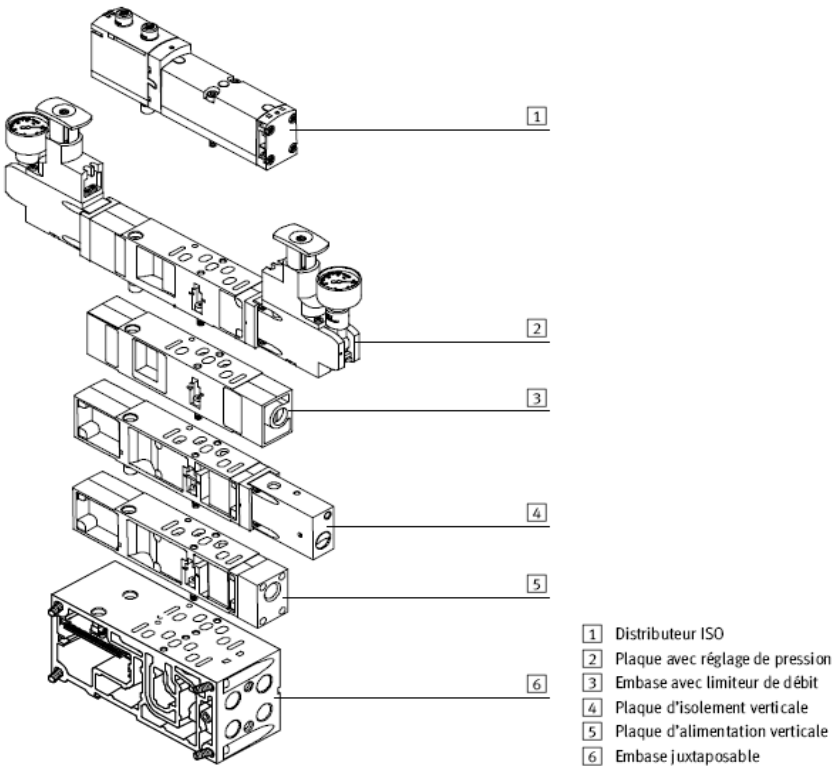


Fig. 3.10 - Structure embase – régulateur / limiteur débit – distributeur FESTO

NUMATICS

Les Séries 2000 chez Numatics sont la solution normalisée par rapport à la distribution pneumatique. Toutes les fonctions pneumatiques sont disponibles avec un débit très habituel par rapport aux tailles 01 et 02. Le mélange des deux tailles ISO15407-2 est impossible sans ajouter une plaque de séparation intermediaire.

La solution bus de terrain est très puissante avec les modules d'électronique G2-1 et G2-2. Les possibilités des entrées sorties décentralisées et le grand nombre de possibilités jusqu'à 96 E et 192 sorties confèrent une grande versatilité aux îlots Numatics. L'offre des protocoles est la plus large du marché: depuis AS-i jusqu'à ControlNet avec une diversité de connectique avec M12.

BOSCH-REXROTH

BOSCH-Rexroth n'a pas proposé jusqu'au dernier moment un îlot de distribution malgré avoir été retenu dans le dernier étude de standardisation.

La série CD26-PL fournissent toutes les fonctions pneumatiques et ont un débit très classique. La régulation de pression en sandwich entre distributeur et embase est possible dans cette série. On ne peut mélanger les deux tailles sur le même îlot car il n'éxiste q'une taille disponible (ISO01 26 mm)

Par rapport à l'offre bus de terrain, cette société a des grandes limitations. Elle propose, avec la structure classique des réseaux de terrain, seulement ProfiBus et DeviceNet. Si on veut utiliser un autre protocole, il faut utiliser les systèmes propriétaire de BOSCH appelé DDL.

Finalement, la visite de BOSCH-Rexroth Monde à Clermont-Ferrand au mois de mars dans le cadre des accords signés entre Michelin et cette entreprise a servi pour obtenir l'engagement d'un vrai développement îlot de distribution performante et le présenter quand il soit opératif. Les dernières nouvelles après la visite des responsables des projets pneumatiques chez BOSCH ont montré un projet qui sera au marché au 2008. On reste, donc, à l'attente pour ajouter cette solution dans un future proche dans l'étude de standardisation.

NORGREN

La gamme VS18/26 permet la Structure embase – régulateur / limiteur débit – distributeur de NORGREN VS18/VS26 ISO 15407-2. Deux tailles peuvent être dans le même îlot de distribution.

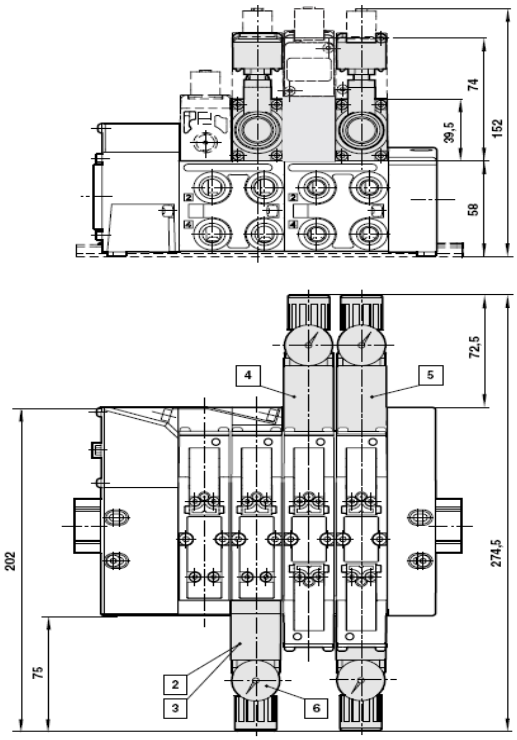


Fig. 3.11 - Vue d'ensemble VS18/26 Norgren

PARKER

Avec Isys Séries, Parker propose une solution îlots distributeurs bus de terrain avec les normes ISO 15407-2 et 5599/2 avec la possibilité de faire la régulation de pression entre embase et distributeur même que le limiteur de débit. Par contre il éxiste un problème qu'on montrera dans la partie des essais par rapport à la compatibilité du régulateur de pression avec les distributeurs des autres sociétés.

Cette option inclut les protocoles Ethernet/IP, DeviceNet, ControlNet et Profibus avec la compatibilité FlexLogix par rapport à E/S de données. En plus Il éxiste la possibilité d'avoir les modules de communication et E/S décentralisées. L'offre bus de terrain Parker est développéé entièrement pour Rockwell Automation.

SMC

Les séries disponibles sur catalogue avec la solution bus de terrain sont EX250 et EX500. Les distributeurs de cette terminal de distribution correspondent aux séries VSR8-4 et VSS8-4 en taille 01 seulement et par conséquent le mélange des tailles est impossible. Le régulateur de pression en sandwich est disponible, mais le mélange

Le nombre des protocoles est très important. On peut trouver Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet, AS-i et Profibus. Mais le point fort des modules SI de SMC est le développement des protocoles Ethernet Industriel comme Modbus/TCP, ProfiNet et Ethernet Industriel Temps Reel comme EtherCat.

4. Réseaux de terrain

Les réseaux de communication sont aujourd'hui un élément habituel dans une grande partie de nos activités, spécialement au bureau et chez nous. Par contre, l'introduction de systèmes d'intercommunication numériques dans le milieu industriel n'est pas si large, mais ils sont à chaque fois plus utilisés, avec une implantation de systèmes croissante dans n'importe quel ambiance industriel. Cette nouvelle méthodologie des systèmes d'automatisation de procédés offre une efficience plus grande et une optimisation des ressources, dès l'installation des systèmes distribués dans un simple processus de fabrication jusqu'à une intégration des divers niveaux de l'entreprise (fabrication, gestion de production, stockage, contrôle de qualité, ventes, distribution, etc.) permetant une efficience supérieur dans les processus de fabrication.

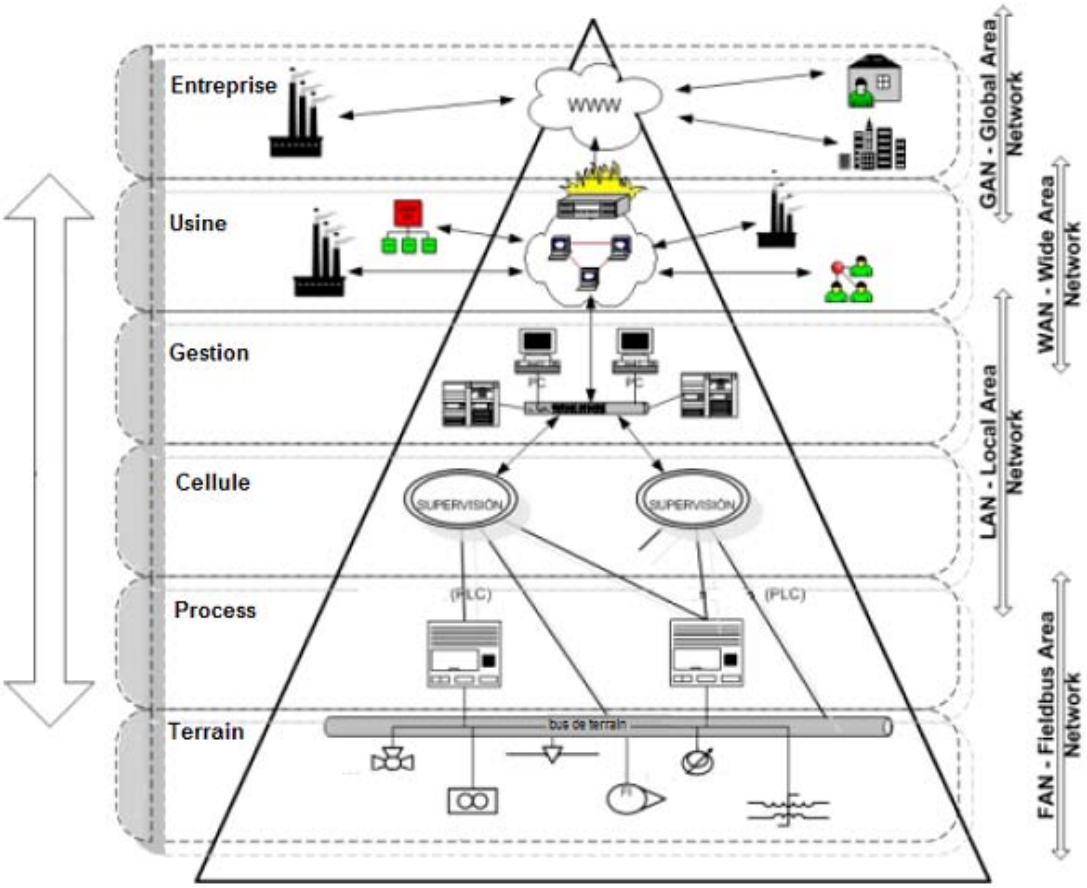


Fig. 4.1 - Hiérchisation des réseaux. Pyramide CIM

Par conséquent, il est nécessaire d'analyser les différentes possibilités au moment d'implanter des nouveaux elements dans une usine, doncs si on se dirige vers une gestion intégrale, il faut que tous les aspects de l'usine soient conçus pour la communication avec le reste. Alors, depuis les elements d'automatisation (APIs, capteurs, actionneurs, IHM, etc.) jusqu'aux elements de gestion et supervision n'oubliant pas les dispositifs de contrôle industriel, tous doivent être capables d'échanger et communiquer entre eux à travers des réseaux industriels dessinés pour cet objectif.

4.1. Introduction

Un bus de terrain est un système de transmission d'information (données) que simplifie l'installation et opération de machines et equipement industriel utilisés dans le process de production.

L'objectif d'un bus de terrain est remplacer les connexions fil à fil entre les elements de terrain et l'equipe de contrôle classique 4-20mA. Typiquement, on trouve que les bus de terrain sont réseaux séries numériques (plus précis que les méthodes analogiques), bidirectionnelles, multipoint, que connectent dispositifs d'automatisation industrielle.

Chaque dispositif a une certaine capacité de process, fait que le transforme en un dispositif intélligent, avec un coût réduit. Chacun de ces éléments sera capable d'executer fonctions simples de diagnostic, contrôle et maintenance, même d'établir une communication bidirectionnelle à travers du bus. De cette façon un noyau du réseaux peut remonter une information en cas de défaillance du dispostif associé et, en général, de n'importe quelle anomalie. Ce mécanisme de monitorisation permet augmenter l'éfficience du système et réduire le nombre d'heures pour la maintenance.

On cherche à remplacer les systèmes de contrôle centralisé pour réseaux de contrôle distribué pour améliorer la qualité du produit et l'efficience et réduire les coûts.

En résumé, un bus de terrain est l'addition d'un protocole et une techonolgie de communication les résultats de laquelle est un réseau industriel de caractère numérique et que réalise le transport d'information.

Les réseaux de terrain ont plusieurs caractéristiques en commun. A continuation, on décrit les plus importantes:

- Les bus de terrain seulement définissent une partie du modèle OSI-ISO de communication basé en couches, concrètement les niveaux 1 (physique), 2 (liaison des données) et le 7 (application). Les autres niveaux ne sont pas nécessaires, mais quelques fonctions propres des niveaux 3 et 5 sont implementé aux niveaux 2 et 7 pour créer un lien entre les deux (voir fig 4.2).

Emetteur	Récepteur	Désignation et rôle des différentes couches de l'édifice OSI	
7	7	Application	Véritable interface entre le réseau et le programme d'application, dotée de commandes applicatives (lecture, écriture)
6	6	Présentation	Représentation (codage) des données en vue de permettre leur analyse et interprétation par la couche suivante
5	5	Session	Établissement et libération de liaisons temporaires entre stations ; synchronisation des communications
4	4	Transport	Gestion de la transmission pour la couche 5 (erreurs d'acheminement, découpage en paquets)
3	3	Réseau	Établissement et libération de liaisons, mise en œuvre de mécanismes pour éviter la congestion du réseau
2	2	Liaison de données	Gestion des règles d'accès au bus (*Medium Access Control*, MAC) et de sécurisation des échanges
1	1	Physique	Caractéristiques mécaniques, électriques et fonctionnelles de la liaison (connectique, codage et débit des signaux)
Support de transmission			

Fig. 4.2 - Modèle ISO-OSI et fonctions des couches

- Le niveau application, interface entre utilisateur et protocole, en général est propre à chaque fabricant. Par example CIP ou la couche application Profibus.

- Le niveau le plus important du modèle OSI pour bus de terrain et le niveaux liaison des données parce que c'est ici ou on définit la méthode d'accès au milie physique (sous-couche MAC) et les trames des communication (sous-couche LLC).

- Le protocole manage un réseau avec une structure logique maître-esclave. Le contrôle du réseau est toujours le travail du maître. Il éxiste des bus de terrain qui propose la possibilité d'un maître changeant ou multimaître.

- Les spécifications d'un bus permet plusieurs type de solutions de câblage et connectique entre les options normalisées.

- Malgré une grande partie du traffic est périodique, gèrent le trafic apériodique d'une manière très efficiente et sa capacité pour gérer messages est orientée pour messages courts ou de petite taille.

- Posèdent mécanismes des contrôle d'erreurs très optimisés et redondance pour éviter défaillances que laisse le bus hors service.

L'installation et déploiement des protocoles bus de terrain au milieu industriel réprésente un avance très posiif pour la production. Donc, l'introduction des réseaux de terrain fournit des nombreux avantages dans l'usine:

- Réduction des coûts grâce à la réduction du câblage et la disponibilité des outils qui permetent la réduction des heures d'installation et mise en fonctionnement.

- Simplification en la façon d'obtenir information du process depuis les capteurs.

- Communication bidirectionnelle entre dispositifs et systèmes de contrôles, mais aussi entre les propres dispositifs de terrain.

- Flexibilité au moment de dessiner le système.

- Maintenance du réseau moins fréquente

Mais cette technologie n'est pas parfaite et implique un nombre pas négligeable d'inconvenients:

- Complexité. Les utilisateurs doivent avoir une haute qualification et une formation importante.

- Le prix d'achats des composants est supérieur.

- Difficile standardisation à cause de la large gamme des protocoles et produits existants sur le marché.

Malgré les technologies de bus de terrain sont présentes depuis 1988, le développement d'un standard international a pris beaucoup de temps. Les guerres des sociétés pour imposer son protocole a provoqué un retard considerable dans la généralisation de l'usage des ces systèmes. Finalement l'année 2000, un groupe d'entreprises ont créé l'IEC 61158, document pris en référence aujourd'hui comme standard dans le domaine de bus de terrain. IEC 61158 définit 8 protocoles appelés «types» à cause des problèmes pour aboutir un seul protocole comme référence standard. Ces 8 protocoles sont:

1) FOUNDATION Fieldbus H1
2) ControlNet
3) Profibus
4) P-Net
5) FOUNDATION Fieldbus HSE (High Speed Ethernet)
6) Interbus
7) SwiftNet
8) WorldFIP

4.2. Guides d'analyse des protocoles

Avant le début de la rédaction de ce document on a étudié la situation de Michelin par rapport au domainde des automates programmables. Le parc d'automatismes du Groupe est fourni presque exclusivement par Rockwell Automation – Allen Bradley.

Ce fait a conditionné d'une certaine façon ces guides d'analyse. On les a focalisé sur l'étude plus approfondi de l'Ethernet Industriel, et plus concrètement du protocole Ethernet/IP. Pour completer toute les niveaux des pyramides CIM par rapport aux bus de terrain. On a analysé aussi, le bus propriétaire ControlNET de Rockwell et la solution niveau de dispositif en correspondance avec la société américaine d'automatisme DeviceNet, les spécifications duquel sont propriétés de l'organisation ODVA (Rockwell est le membre principal qui la dirige).

Cependant, on n'a pas voulu fermer cet analyse à l'autre grande famille des protocoles. On parle de ProfiNet, ProfiBus et AS-i. Ces bus de terrains ont une spécification ouverte, sauf la couche application de ProfiNet, et ils sont dévéloppés par la division automaton de Siemens. Ils font parti aussi de ce document.

4.2.1. Ethernet Industriel

Suite au succès de l'Ethernet dans le bureau, l'industriel a pensé à mettre en place ce type de réseau dans l'usine. L'augmentation de l'importance de l'Ethernet a envisagé la création des développements spécifiques pour l'usine. La croissance du marché de réseaux locaux industriels et les besoins de hautes performances font de l'Ethernet Industriel le protocole du présent et du futur dans l'automatisation industrielle aux niveaux supérieures de l'échelle de production.

Pour cette pré étude, la méthodologie qu'on va utiliser est la suivante. D'abord on parlera de les caracteristiques générales de l'Ethernet selon le standard IEEE 802.3. On fera un parcours par le niveau liaison des données et physique du modèle OSI, et, finalement, on présentera les différentes solutions Ethernet Industriel présentes dans le marché de bus de terrain.

Ethernet Industriel utilise le modèle OSI/ISO comme le standard «de facto» dans le domaine des réseaux. On coupe le processus de communication dans 7 couches qui ont attribués des services bien définis.

Par rapport à la taille des données et à la vitesse de communication on a deux directions dans la pile OSI/ISO. A fur et au mesure qu'on descend les besoins de vitesse augmentent et la taille des données se réduisent jusqu'à l'octet dans le niveau liaison des données. Enfin, au niveau physique on attend des vitesses de l'ordre du Mo/s et la taille des données devient le signal physique selon la codification définie pour chaque type de réseaux.

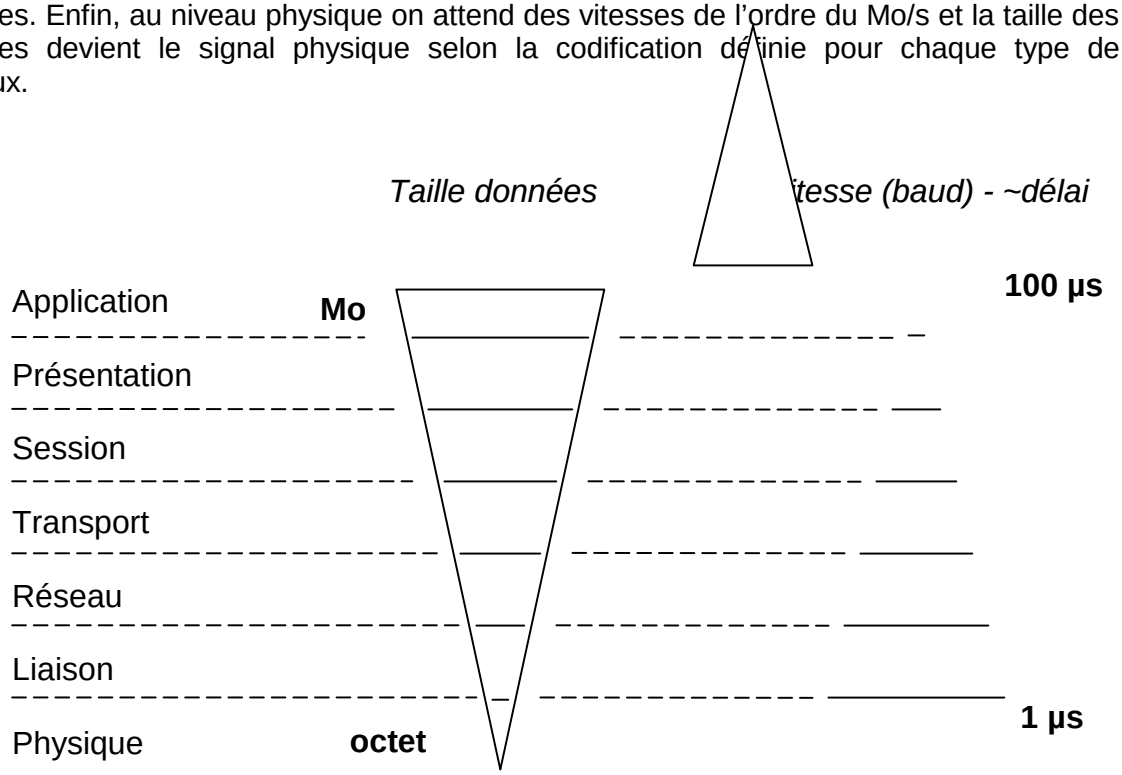


Fig. 4.3. - Grandeur des données selon les couches OSI

A continuation on décrit les différents champs de la trame Ethernet Industriel standard selon le IEEE 802.3 (Fig. 4.4) par rapport au niveau MAC (Medium Access Control).

Préambule (PRE):

Composé de 7 octets. Ce champ alterne zéros et uns. Ça veut dire qu'on dit aux stations réceptrices que la trame est en train d'arriver, et ça fournit une façon de synchroniser la portion de réception de trame de la couche physique réceptrice avec le flux de bits d'entrée.

Délimiteur de début de trame (Start-of-frame delimiter - SOF):

Composé d' 1 octet. Ce champ est formé de zéros et uns, en finissant par deux 1 consécutifs qui indique que le prochain bit est le bit le plus à gauche dans l'octet le plus à gauche de l'adresse de destination.

Adresse de destination:

Composé de 6 octets. Le champ d'adresse de destination identifie quelle station doit recevoir la trame. Le bit le plus à gauche de ce champ indique si l'adresse est individuelle (indiqué par un 0) ou de groupe (indiqué par un 1). Le deuxième bit le plus à gauche indique l'administration globale ou locale (0 ou 1). Les 46 bits restants sont une valeur uniquement assignés qui identifie une seule station, un groupe défini de stations ou toutes les stations du réseau.

Adresse d'origine:

Composé de 6 octets. L'adresse d'origine identifie la station émettrice. Le champ est toujours une adresse individuelle et le bit le plus à gauche prenne toujours la valeur 0.

Longueur/Type:

Composé de 2 octets. Ce champ indique soit le nombre d'octets de données du client MAC que sont contenus dans le champ de données de la trame, ou l'identifiant du type si la trame est assemblée ou formé avec un format optionnel. Si la valeur de Longueur/Type est inférieure ou égal à 1500, le nombre d'octets LLC dans le champ des données est égal à la valeur de ce champ. Si le champ est supérieur à 1536, la trame est une trame de type optionnel et alors Longueur/Type indique le type particulier de trame envoyée ou reçue.

Données:

Séquence de n octets de n'importe quelle valeur, ou n et inférieure ou égale à 1500. Si la longueur des données est inférieure à 46, ce champ doit être en ajoutant un bourrage (un «pad») suffisant pour arriver à 46 octets.

Séquence de vérification de trame (Frame check sequence - FCS):

Composée de 4 octets. La séquence contient une valeur CRC32 créé par le MAC émetteur et elle est recalculée par le MAC récepteur pour vérifier les trames endommagées. Cette séquence est générée à partir de l'adresse de destination, l'adresse source, la longueur/type et le champ de données.

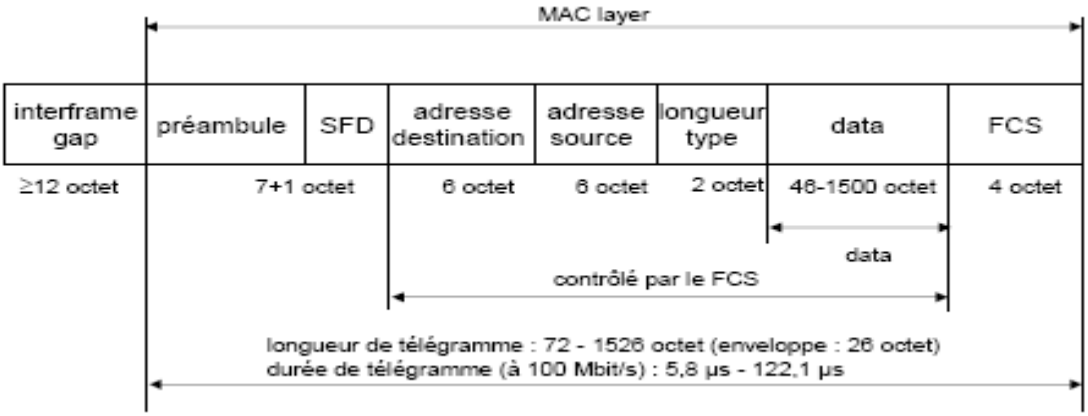


Fig. 4.4 - Trame Ethernet standard

Le principale problème de l'Ethernet Industriel est son caractère non-deterministe à cause de l'utilisation de l'algoritme CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) pour l'accès au milieu physique. On ne peut pas garantir la livraison et envoi des données dans un temps concret. On va expliquer pourquoi ce n'est pas possible avec la description de cet algoritme.

Un element du réseau qui veut transmettre «écouté» le milieu physique s'il est possible de commencer la transmission. Si le milieu physique est occupé le noeud attend jusqu'au moment ou le milieu est libre et il commence. Si deux elements commence une communication en même temps il y aura lieu une collision. Tous les noeuds impliqué en la collision utilise l'algoritme probabiliste Binary Exponential Backoff pour réssayer la transmission.

Pour la première collision les noeuds qui transmettent prend aléatoirement le temps d'attente entre un et deux «slot». Un slot et le temps qu'un noeud prend pour livrer le plus petit message Ethernet à une vitesse donnée. Si une autre collision a lieu, les noeuds en train de transmettre prend un temps «back off» aléatoire entre 0, 1, 2 ou 3 temps de slot. La formule générale pour l'algoritme est 2^n -1 ou n est le nombre d'essais pour retransmettre. La valeur maximum de n est 10 qui donne un délai maximum de 1023 temps de slot pour le dernier éssais de retransmission. Après 16 collision, le contrôleur remonte un message de défaillance de l'application.

Pour obtenir un réseau déterministe Ethernet l'utilisation des réseaux commutés avec des switches et des communications full-duplex pour créer plusieurs chemin pour l'envoi et réception des trames sont les solutions proposées dans le marché actuel.

Dans la figure 4.5 on peut observer un schéma du fonctionnement de l'algoritme CSMA/CD.

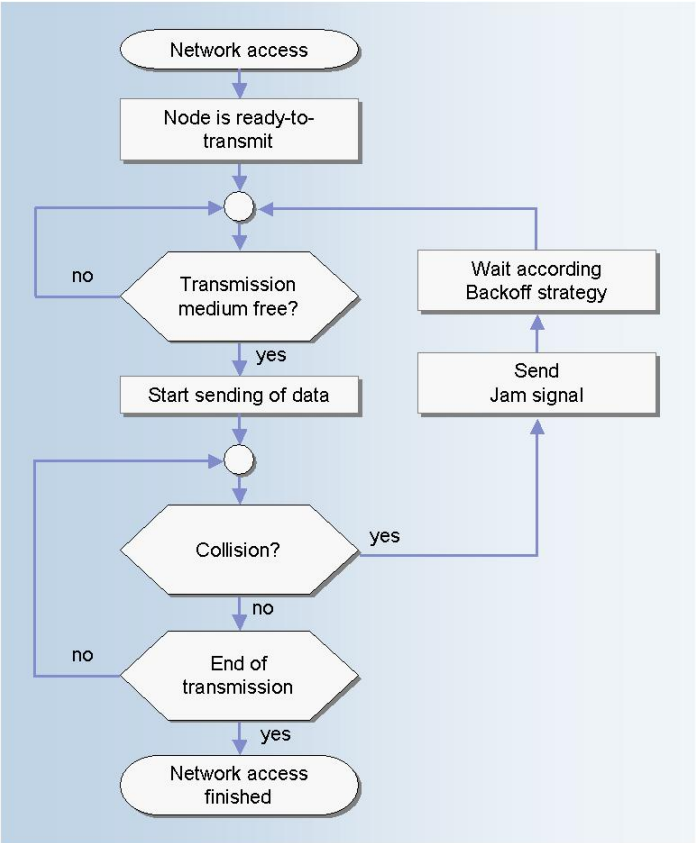


Fig. 4.5 - Algoritme CSMA/CD

Il existe plusieurs débits pour Ethernet Industriel mais les fabricants on dirigé leurs développements vers le 10/100 Mb/s, c'est à dire, 10Base-T et FastEthernet. Malgré cette performance théorique, Ethernet reste un réseau avec un taux d'utilisation de largeur de bande très petit à cause de la grande taille de la trame de communication.

Les topologies les plus habituelles pour ce protocole sont l'étoile à cause de l'utilisation de réseau switch, le bus ou ligne (originaire d'Ethernet), et l'anneau avec la possibilité d'une redondance logique pour sécuriser les elements du réseau.

La base du IEEE 802.3 où Ethernet est défini repose sur le codage Manchester différentiel. Quand on utilise ce type de codage chaque bit est divisé en deux intervals. Un «1» logique est transmis quan le signaux est «haut» pendant le premier interval et «bas» pendant l'autre moitié du bit. Pour transmettre un «0», on utilise l'invers que pour envoyer un «1». Le niveau d'un signal haut est +0.85 V et -0.85V pour un signal bas.

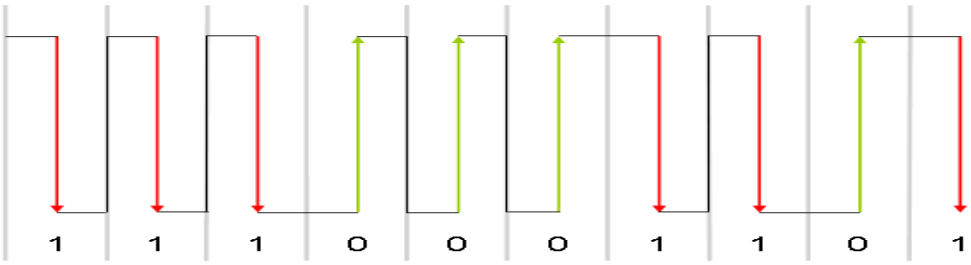


Fig. 4.6 – Example de signal selon Manchester différentiel

Par rapport au câblage il existe un débat entre deux solutions. L'Ethernet bureautique utilise le RJ45 avec communication croissée. La versatilité et facilité d'installation fait de cette développement une connectique très agréable pour le bureau, mais dans l'usine il existe des contraintes face auxquelles le RJ45 bureatique n'est pas prêt. Pour adapter le RJ45 au milieu industriel on envisage de capuchons pour une protection IP67. Plusieurs fabricants comme Siemon, Hart ou Phoenix développent ce type de solution pour Rockwell, Siemens ou Schneider.

Fig 4.7 – RJ45 selon IP67

Malgré ces éssais pour adapter le RJ45 au milieu industriel, ce câblage reste la solution idéale seulement pour le coté automatisme avec des limitations inférieures par rapport à la protection IP (IP20).

Vu les limitations du milieu industriel la meilleure solution passe par une intégration de deux systèmes en même temps. On peut utiliser des prises RJ45 pour l'intérieur d'un coffret ou l'automatisme et logé et des prises M12 pour l'extérieur, ce qui ajoute de résistance au milieu industriel, plu exigeant avec le matériel.

Le type de câble habituel pour les hautes performances de ce protocole est la fibre optique, mais on utilise aussi le câble coaxial comme solution plus classique.

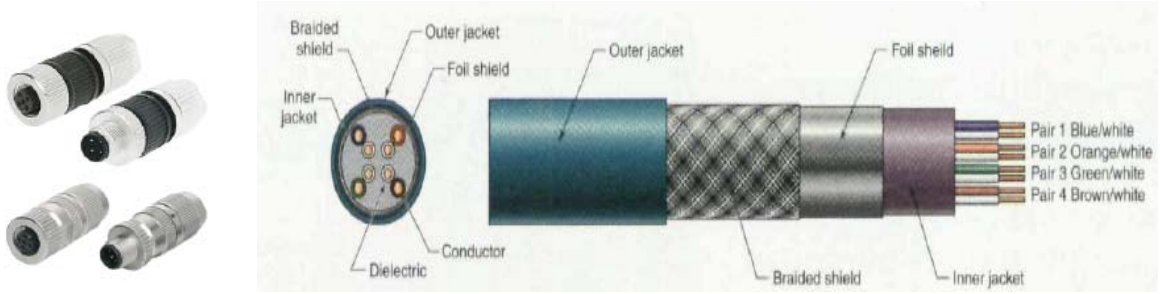


Fig. 4.8 – M12: connecteurs et coupure du câble

Ethernet Industriel sans fil

Une analyse à réaliser dans une période plus long concerne les réseaux locaux industriels sans fil. Le développement des standards comme IEEE 802.11 établie et documente une solution Ethernet Wi-Fi laquelle pourrait être utile pour l'étude réalisé.

Quant on introduit le concept Wi-Fi il faut remarquer l'utilisation de routeurs qui apportent l'intelligence d'acheminement, mais aussi les interférences, le bruit et la compatibilité électromagnétique. Evidemment les performances par rapport au bitrate no sont si élevées que dans une solution Ethernet câblée: on parle d'environ 5 à 11 Mb/s (actuellement FastEthernet a une vitesse de 100 Mb/s)

Dans le marché il existe un nombre assez important de fabricants et modèles de routeurs. Par rapport à la solution industrielle sur laquelle on parle, il existe des routeurs industriels très adéquats dans ce cas. Si on parle de fabricants, CISCO est, sans doute, une des entreprises les plus fortes et avec plus d'expérience dans le domaine du développement réseau en général et routeurs en particulier. Autre entreprise aussi importante dans le domaine des routeurs est 3Com avec un grand prestige.

4.2.1.1. Ethernet/IP

Ethernet/IP est le protocole Ethernet Industriel proposé par Rocwell. Il est composé de deux parties par rapport au modèle OSI. La couche application est développé en s'appuyant sur le protocole applicatif CIP et les couches physique et liaison des données suivent le standard Ethernet IEEE 802.3.

Ethernet/IP utilise le protocoles de transport et contrôle de l'Ethernet bureatique, c'est-à-dire le Protocole de contrôle du transport (TCP) et le protocole Internet (IP). Cette implementation d'Ethernet Industriel est compatible par rapport aux spécifications de milieu physique et accès au données sur le bus. Par contre la couche application reste une solution fermé pas standard.

L'utilisation de technologie Ethernet standard pour la couche physique rend l'intégration d'Ethernet/IP plus facile dans le réseau d'usine et les produits développés pour cette fonction. Le hardware appelé off-the-shelf et le standard TCP/IP peut être utilisés avec. La pile de protocole Ethernet/IP est disponible pour plusieurs types d'application.

Ce protocole a des adaptations pour des profils sécurisés en utilisant le protocole CIP Safety sur Ethernet. Les dispositifs Ethernet/IP Safety développent les extensions CIP Safety sur un réseau Ethernet/IP.

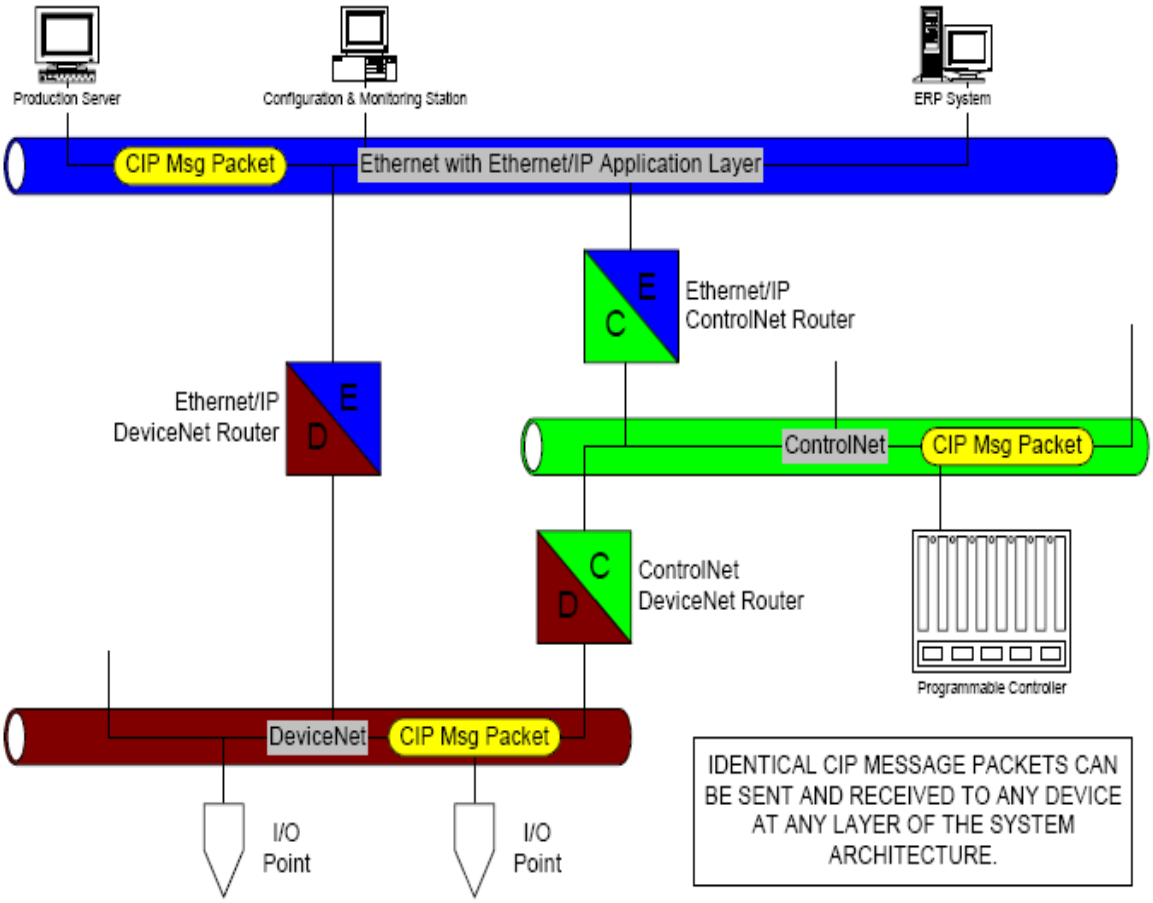


Fig 4.9 - Architecture Ethernet, ControlNet et DeviceNet

Les avantages de ce protocole sont nombreuses. La proposition d'une couche application CIP qui offre tous les services pour le dispositifs avec un seul point d'accès et configuration rend très simple l'utilisation. Le classement de tous les dispositifs comme objets réduit considerablement la formation nécessaire quand un nouveau dispositif est ajouté au réseau. Ethernet/IP au sommet de la pyramide offre une performance très adaptée pour l'échange d'information grâce à un temps de réponse petit et une productivité d'envoi des données supérieure. CIP offre, donc une couche application très consistente pour les niveaux de la production automatisées.

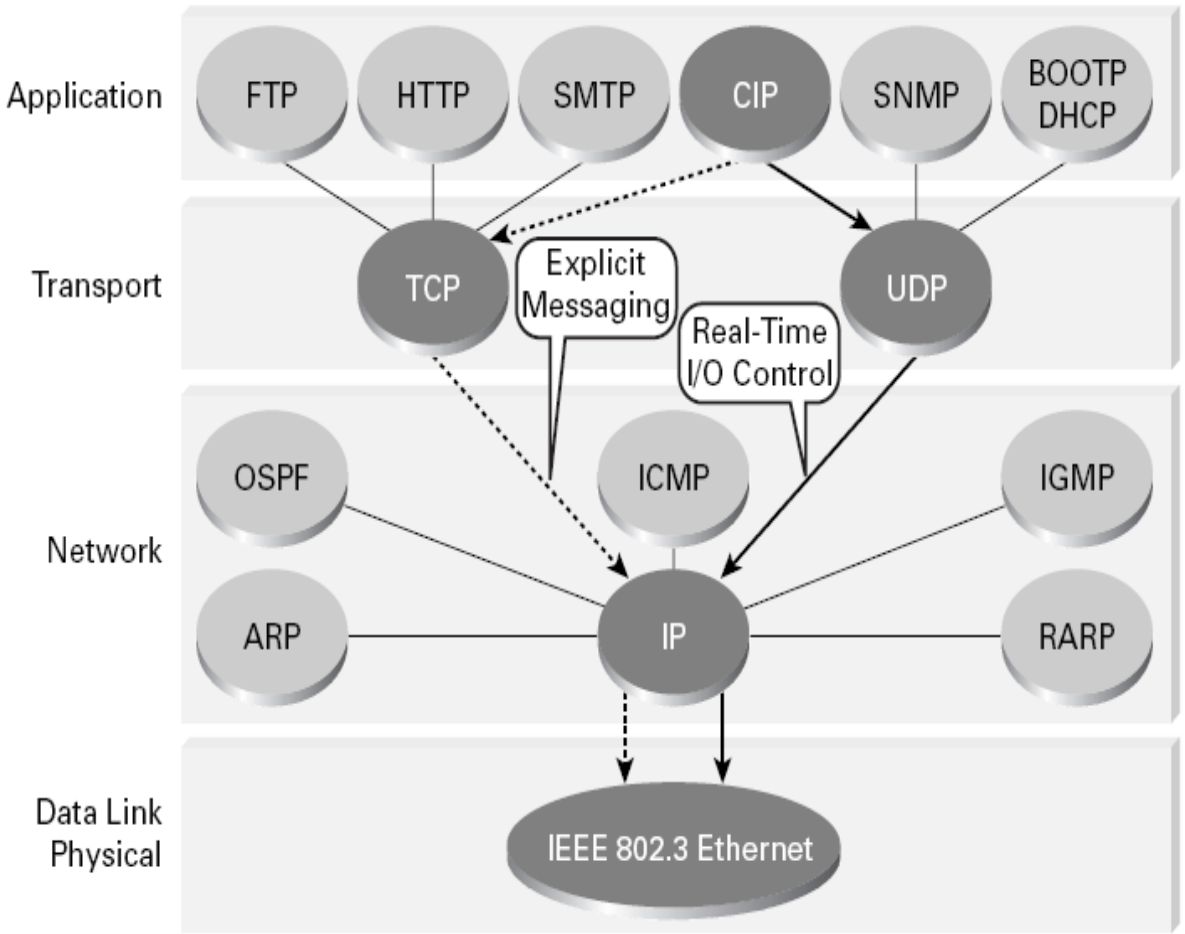


Fig. 4.10 – Relations entre couches pour Ethernet/IP

Malgré ces point forts la conception du système en objet fait changer la mentalité des utilisateurs et développeurs et doit être accompagnée d'une formation plus solide pour comprendre tous les points du réseau. En plus l'interopérabilité reste un point faible du réseau à cause de la propriété de sa spécification.

L'organisation qui soutien Ethernet/IP est l'ODVA, dont le membre principale est le propriétaire de la spécification et principale développeur Rockwell Automation. Malgré les informations diffusées, ce protocole n'est pas un standard bus de terrain dans le niveau application, seulement reste standard pour la couche physique et liason des données selon le standard IEEE 802.3 de l'Ethernet.

CIP (Common Industrial Protocol)

CIP, soit Communication and Information Protocol, soit Common Industrial Protocol selon bibliographies, est le protocole de communication qui sert comme couche application pour l'Ethernet/IP, ControlNet et DeviceNet. Ce protocole a comme fonction la transmission des données entre deux dispositifs dans le domaine de l'automation. Dans le protocole CIP, chaque dispositif du réseau représente une série d'objets. Chaque objet est simplement un regrouppement des valeurs d'identifiant d'objet dans un dispositif. L'objet identifiant contient valeurs des données appelées atributes. Les atributes pour l'objet identifiant regroupe

l'identifiant du fabricant, la date de fabrication, le numéro de série du dispositif et d'autres données d'identification. CIP ne spécifie pas comme les données sont implementées, seulement quelles valeurs doivent être supportées et que ces données doivent être disponibles pour les autres dispositifs réliés à un réseau CIP.

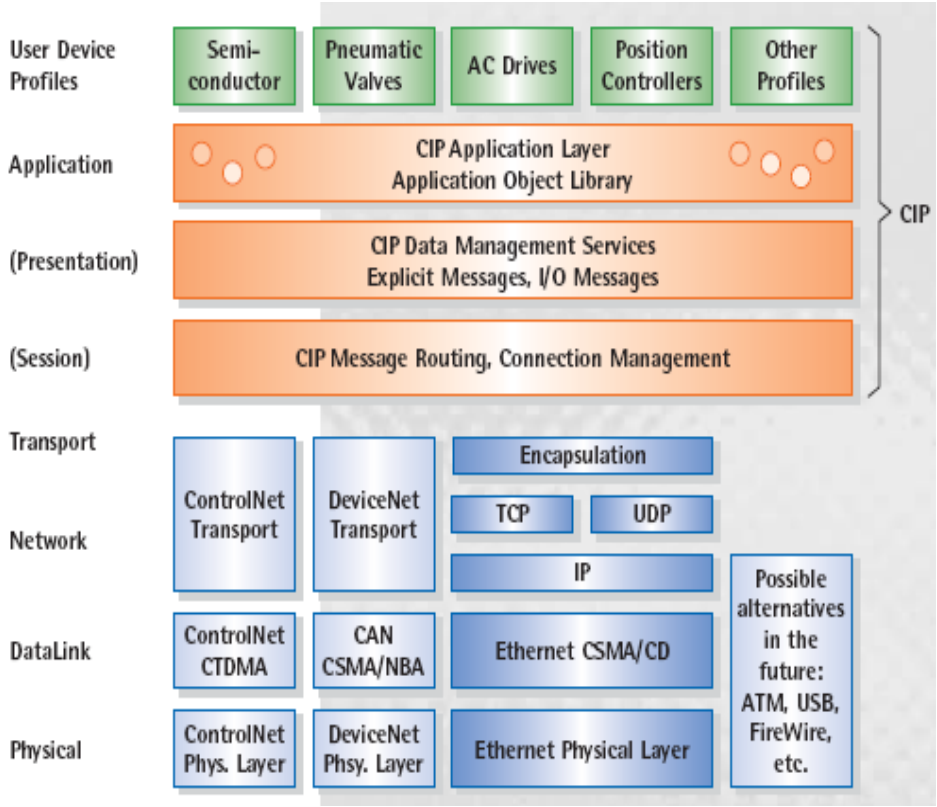


Fig. 4.11 - Modèle Ethernet/IP et CIP pour application

4.2.1.2. ProfiNet

ProfiNet est le standard ouvert Ethernet Industriel (IEC 61158) pour l'automatisation industrielle. Ce protocole s'appuie sur le standard IEEE 802.3 (Fast Ethernet 100 Mb/s et technologie switch).

Ce bus de terrain a comme principale point fort sa large gamme de profils pour tous les situations dans l'usine: automatisation décentralisé (Profinet IO), sécurité (ProfiSafe), motion control (ProfiDrive). L'adaptation pour chaque niveau de la pyramide d'automation fait de ce protocole une solution très souhaitable dans le domaine Ethernet Industriel ouvert.

ProfiNet couvre la gamme complète d'application d'automatisation industrielle et il existe trois propriétés de communication basiques pour ce protocole:

- **communications TCP et UDP sans Real-Time**: ça constitue la base de la communication pour la parametrisation et la configuration de le standard TCP/IP.

- **Temps Réel**: Real-time est utilisé pour les données critiques par rapport au temps, comme par example, les données cycliques d'utilisateur ou les interruptions programmées. Profinet utilise un canaux de communication optimisé pour les besoins temps réel. Ça réduit les temps de cycle et abouti une augmentation des performances pour le données de mise à jour du procédé. Cette performance est comparable avec celle des bus de terrain, et permet de temps de réponse entre 1 et 10 ms (fig. 4.12). En même temps, le débit du processeur dans le dispositif est très réduit. Les composants des réseaux standards peuvent être utilisé pour cette solution.

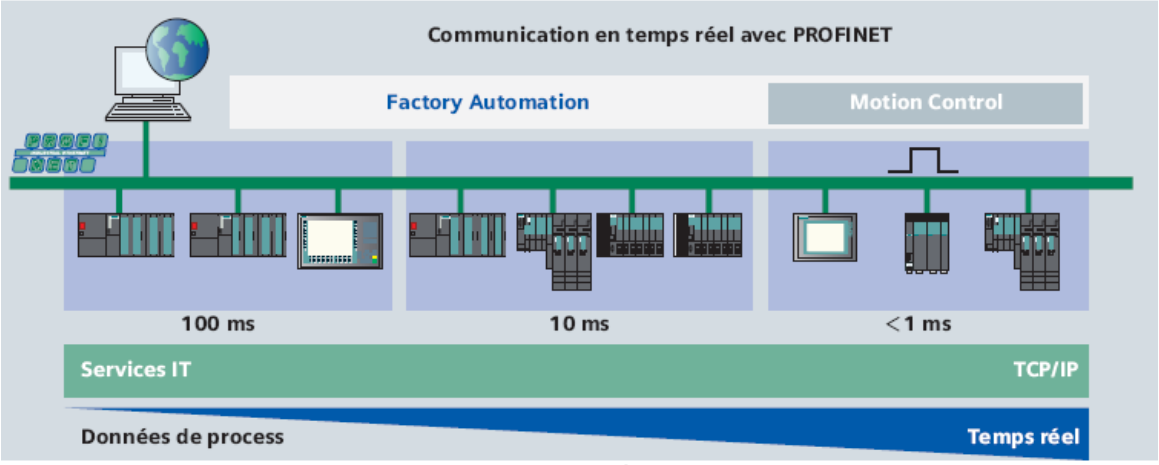


Fig. 4.12 - Temps Réel ProfiNet

- **IRT** (Isochronous Real-Time): Adapté pour le motion control et pour les application de hautes performance dans l'automatisation industrielle. IRT permet un temps de cycle de 250 µs avec une efficacité de moins d' 1 µs. Pour obtenir ce débit le cycle de communication est divisé en une partie deterministe et une partie ouverte (fig. 4.13). Le message IRT cyclique est transmis dans la partie deterministe, le TCP et RT message dans la partie ouverte. Les deux types de trame existens l'un à coté de l'autre, mais sans interferénce mutuelle. Ça signifie que les utilisateurs peuvent connecter un ordinateur portable n'importe où pour acceder aux données du dispositif sans effects négatifs dans le contrôle isochrone.

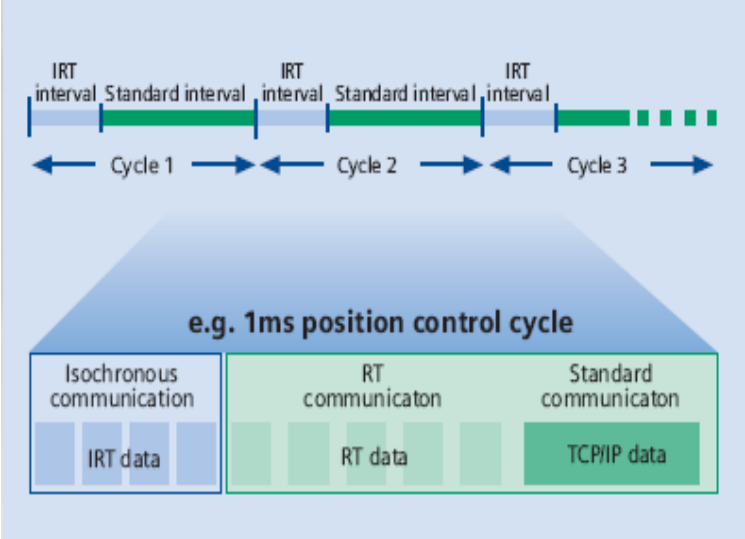


Fig. 4.13 - Isochronous Real Time

Profinet est basé sur la technologie commutateur (switch) 100 Mb/s. Les commutateurs permettent les stations des transmettre en même temps. Il y a toujours un lien point-to-point au prochain commutateur. Cette caracteristique est aussi bidirectionelle, ça veut dire qu'on obtient une bande passante de 200 Mb/s. Les advantages sont nombreux: les aires du réseau qui n'ont pas besoin de reception des trames ne les reçoivent pas, avec une réduction consequente de la charge du réseau.

Les topologies les plus fréquentes sont l'étoile, la ligne avec bretelles, arborescence et anneau avec redondance logique. Les structures pour les usines les plus utilisées consistent à un mélange de topologies. On peut implementer les structures réseau avec câble typique de cuivre et fibre optique (pour les distances très longues).

Ce protocole bus de terrain a une caracteristique très importante. Profinet peut être contrôlé avec des clients web. Ça se passe avec les technologies standards de l'internet comme HTTP, XML, HTML ou scripting. Les données sont transmises d'une manière standard avec les formats XML et HTML et peut être visualisé avec les navigateurs web. Ce fait permet une intégration de l'information ProfiNet des dispositifs dans le moderns systèmes d'information basés sur le multimedia.

L'intégration avec les serveurs web établi ProfiNet comme un protocole très adapté pour la maintenance et le diagnostic. En plus pour l'utilisateur ça répresente une interface plus aimable qu'une IHM classique.

ProfiNet est supporté par Profibus et Profinet International. En plus, l'industrie automobile utilise ce protocole comme la solution la plus adapté pour la construction des vehicules dans les usines. Le principale développeur de ProfiNet est Siemens.La plateforme Step 7 et Simatic Net travaille sur la base de la configuration ProfiNet et Profibus comme protocoles principales.

4.2.1.3. Modbus: ASCII/RTU et TCP

Modbus est un protocole de communication série publié par Modicon en 1979 pour l'utilisation avec ses APIs. Depuis le rachat de Modicon par Schneider Electric, Modbus est devenu le protocole proposé pour les automatismes de cet important fournisseur. Aujourd'hui, Schneider Electric est membre de l'ODVA. Ça veut dire que Modbus sera une solution avec un poids important dans un futur très proche.

Modbus est un protocole ouvert de couche applicative (modèle OSI – 7), qui fournit une commnunication client/serveur entre dispositifs connectés sur plusieurs types de réseaux. Il éxiste plusieurs techniques de transmission pour ce type de réseaux: RS485, RS232, fibre optique, radio...

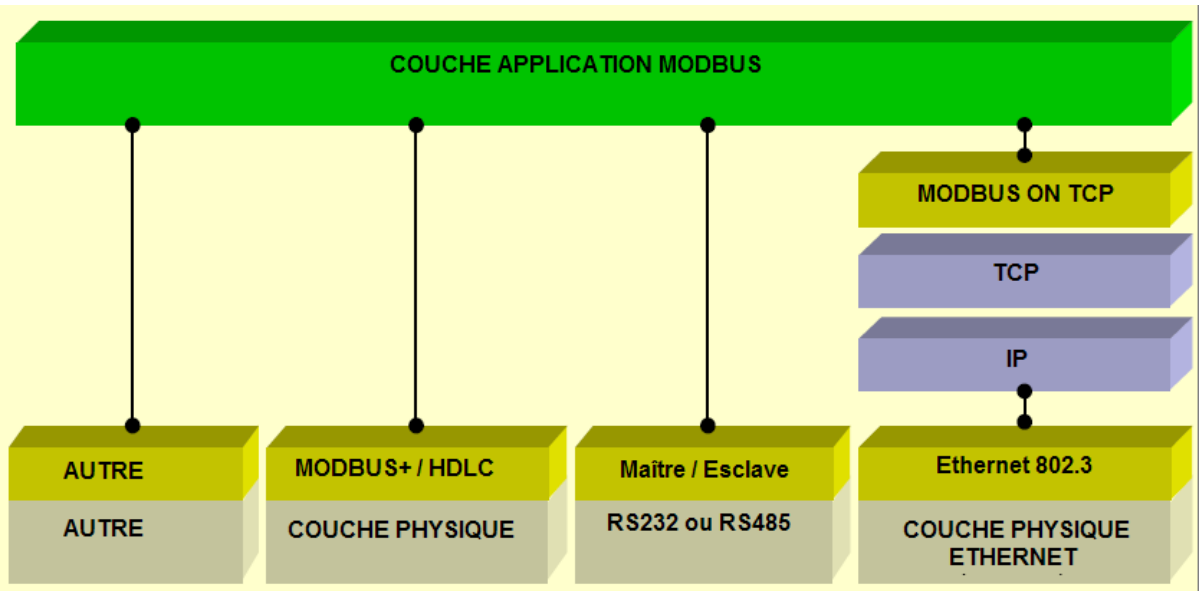


Fig. 4.14 - Pile de communication Modbus

Le protocole Modbus permet une communication simple avec tous les types d'architectures de réseaux (voir fig 4.15). Chaque type de dispositif (API, IHM, Modules E/S...) peut utiliser Modbus pour démarrer une une opération à distance.

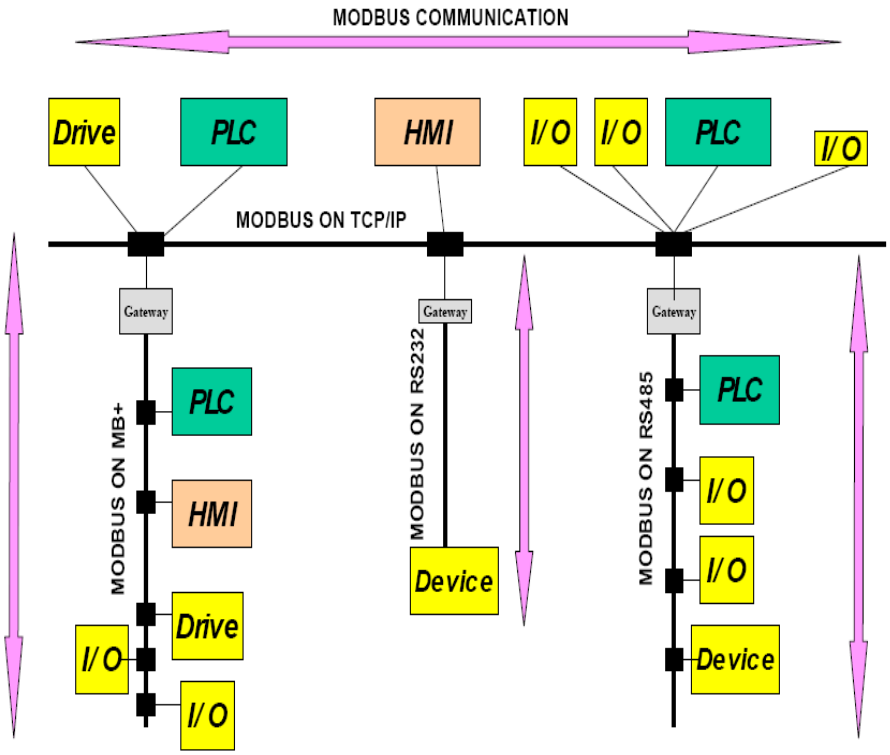


Fig. 4.15 - Example d'architecture Modbus

Ce protocole définit pour sa trame une unité des données de protocole simple (PDU: Protocol Data Unit) indépendante des couches de communication qui sont au-dessous. Le mapping de Modbus sur de réseaux spécifiques peut introduire champs additionels sur l'unité de données d'application (ADU: Application Data Unit).

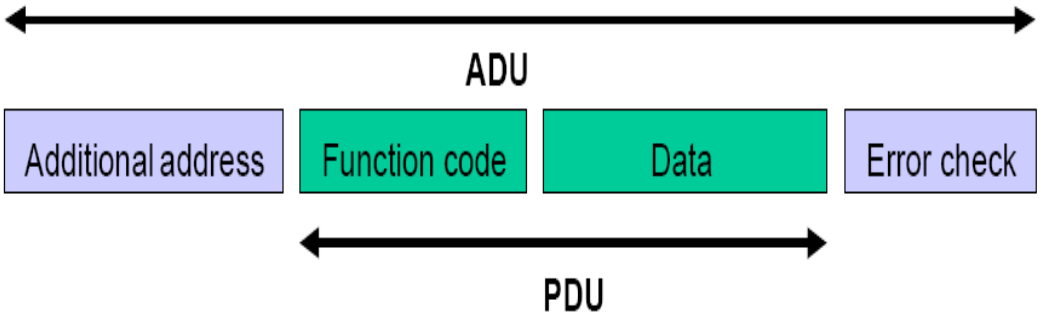


Fig. 4.16 - Message Modbus général

L' ADU est bâtie par le client qui commence une transaction Modbus. Le code fonction indique au serveur quelle type d'action doit réaliser. Le protocole d'application Modbus établi le format d'une réquêt démarrée par le client.

Modbus ASCII/RTU

La spécification originale Modbus offrait deux mode de transmission possibles: ASCII et RTU (Remote Terminal Unit). Modbus RTU est l'implementation la plus habituelle. Ce mode utilise codage binaire et une vérification d'erreurs CRC de 16 bits. Les messages Modbus ASCII est moins éfficient et utilise une vérification d'erreurs LRC qui est moins éffective. Le mode ASCII utilise de caractères ASCII qui composent le message, c'est pour ça qu'on dit que ce mode est plus «humaine» et plus «verbal» car on peut lire le contenu des messages. Par contre ça réprésente un problème pour la sécurisation des données. Les deux modes sont incompatibles; un dispositif configuré ASCII ne peut pas communiquer avec un élement RTU.

Modbus/TCP

Modbus/TCP est un développement récent, créé pour permettre au protocole Modbus/TCP d'être transmis sur des réseaux TCP/IP. Modbus/TCP embarque le message standard Mobus dans des trames TCP/IP. Malgré la simplicité de l'implementation, les caracteristiques associée présente quelques considerations à tenir en compte. Par example, les maîtres Modbus attendent et démandent de réponses à leurs enquêtes avec un temps de trame donnée. Il faut, donc, être attentif à l'aspect non-deterministe du TCP/IP.

Un en-tête dédiée est utilisé sur TCP/IP pour identifier l'ADU de Modbus (voir fig. 4.17). Il s'appele en-tête MBAP (Modbus Application Protocol Header).

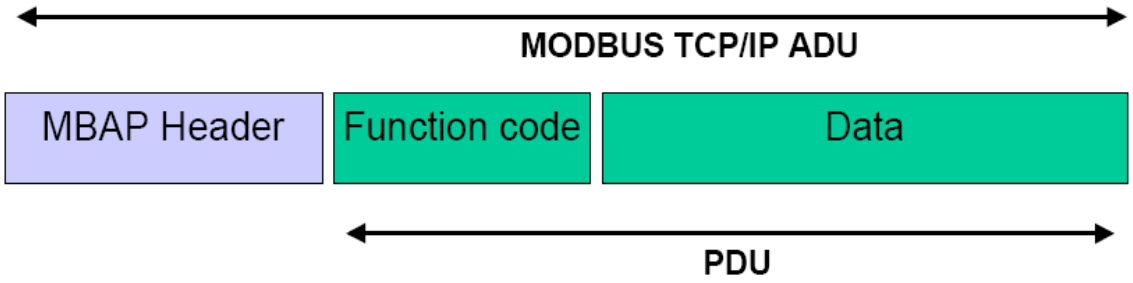


Fig. 4.17 - Trame Modbus sur TCP/IP

Modbus/TCP configure les connexions entre noyaux du réseau en envoyant des démandes via TCP half-duplex. TCP permet de tuyauter ou mettre dans une queue multiple démandes dans une mémoire intermédiaire attendant d'être désservies. Modbus/TCP a la capacité d'utiliser identifiants de transaction (nombres de séquence), mais quelques fabricants de matériel Modbus ne l'utilisent pas. Si une démande d'un maître est perdue, ou contient un mauvais code de fonction, l'esclave ne répond pas. Le maître doit redémarrer la démande, ou peut-être il éxiste autres démandes qui attendent. Les réponses à de requêtes anciennes peut provoquer de problèmes de désynchronisation et le maître peut relier la mauvaise réponse à une réquête. Les symptomes qui peuvent apparaître à cause de ce problèmes sont l'apparition des données incorrectes depuis un esclave, la tombée en panne des esclaves, ou l'augmentation progressive du temps de réponse.

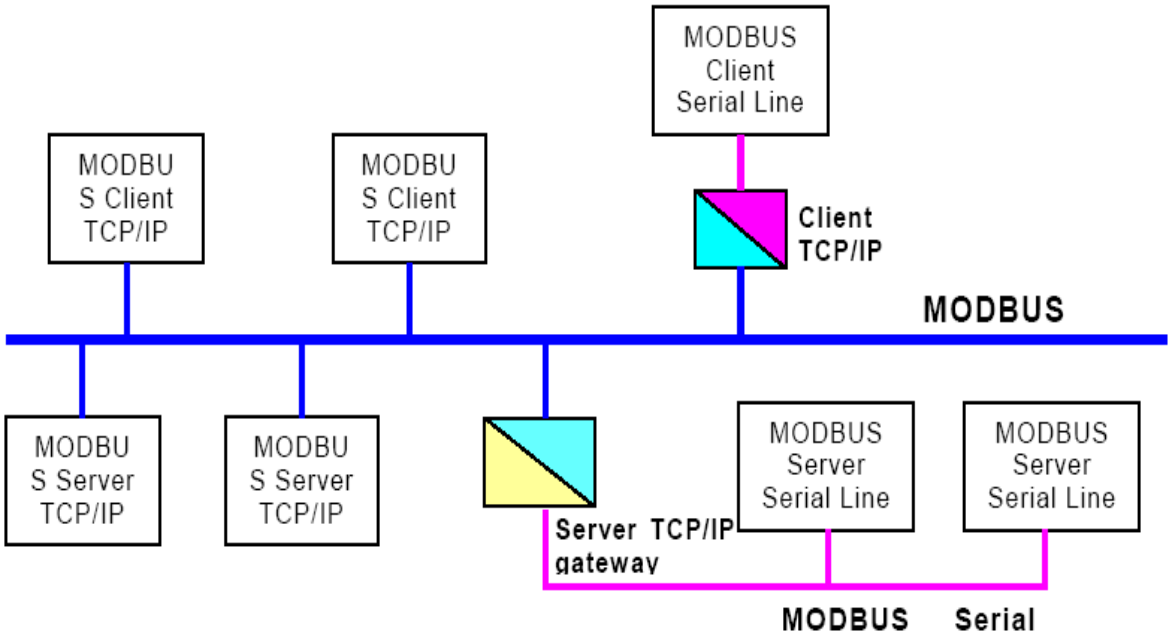


Fig. 4.18 - Architecture de communication Modbus TCP/IP

4.2.1.4. Ethernet Industriel Temps Réel

Le problème du détérminisme dans Ethernet Industriel limite beaucoup la croissance de ce protocole dans le milieu industriel. Cependant, comme on a déjà décrit, le haut niveau de performances et les avantages de l'Ethernet donnent une grande puissance pour l'usine. Par conséquent il faut trouver une solution qui réduit ou elimine cet inconvenient.

Des nombreuses universités, centres de recherche et entreprises ont dirigé une grande quantité des ressources pour résoudre cette problématique. La conclusion des ces études a fait apparaître le concept «Temps Réel» dans le domaine de l'Ethernet Industriel.

Le Temps Réel consiste à créer des méthodes des sincronization entre les elements du réseau et le partage du temps de communication grâce à algoritmes spécifiques et à la définition des champs spéciaux dans les trames.

Il éxiste plusieurs implementation de ce concept dans le marché. On a choisi trois des protocoles Ethernet Industriel Temps Réel le plus célèbres aujourd'hui. Ils sont soutenus et développés par un grand nombre des sociétés présentes dans le monde industriel.

4.2.1.4.1. EtherCat

Ce bus de terrain est un protocole ouvert de hautes débit basé sur le standards Ethernet. Le but du développement est l'application d'Ethernet dans les applications d'automation avec des besoins de temps de mis à jour pour rafales des données très courtes (aussi appélé temps de cycle) avec une précision basse et coût réduit par rapport àu hardware.

D'habitude les réseaux de terrain typiques sont caracterisés par des longueurs de données petites pour chaque noyaux de l'installation, typiquement inférieurs à la charge que suppose les trames Ethernet. Si les trames Ethernet sont utilisées de façon individuelle pour chacun des équipements, le taux de données utiles est en principe très faible. Les trames Ethernet les plus courtes comptent 84 octets (en comptant le délai inter-trame).

Le protocole EtherCat est encapsulé dans les trames Ethernet (voir fig.) grâce à un champ Ethertype spécifique. Celui-ci consiste en une série de sous-télégrammes, adressant des zones mémoire particulières de l'image logique du process, pouvant atteindre une taille de 4 GigaOctets. La séquence des données est indépendante de l'ordre dans lequel sont reliés physiquement les terminaux; l'adressage peut ainsi être effectué dans n'importe quel ordre. Le transfert direct de trames Ethernet est utilisé dans les cas où de très hautes performances sont requises et lorsque les composants EtherCat opèrent à l'intérieur d'un même sous-réseau (voir fig. 4.19).

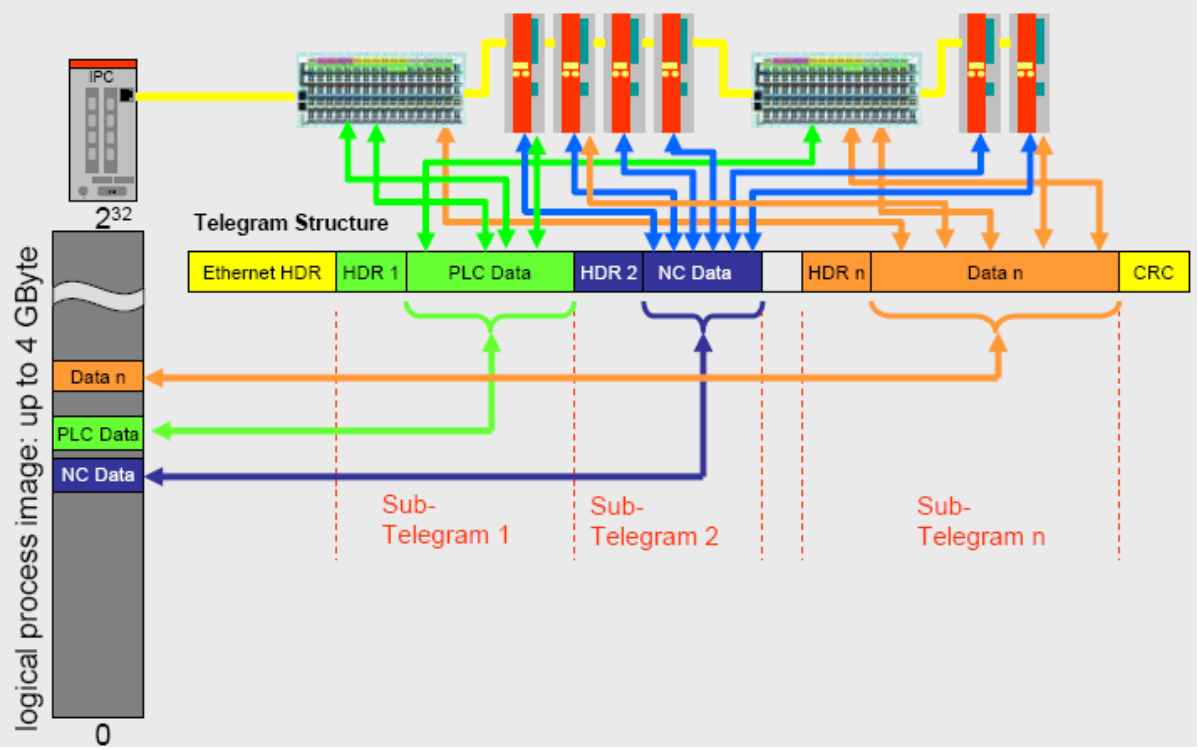
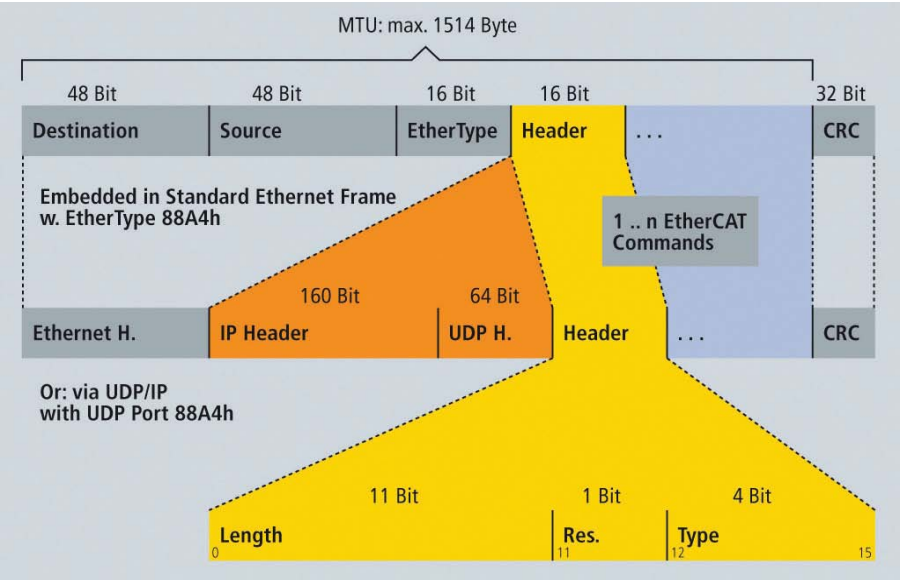
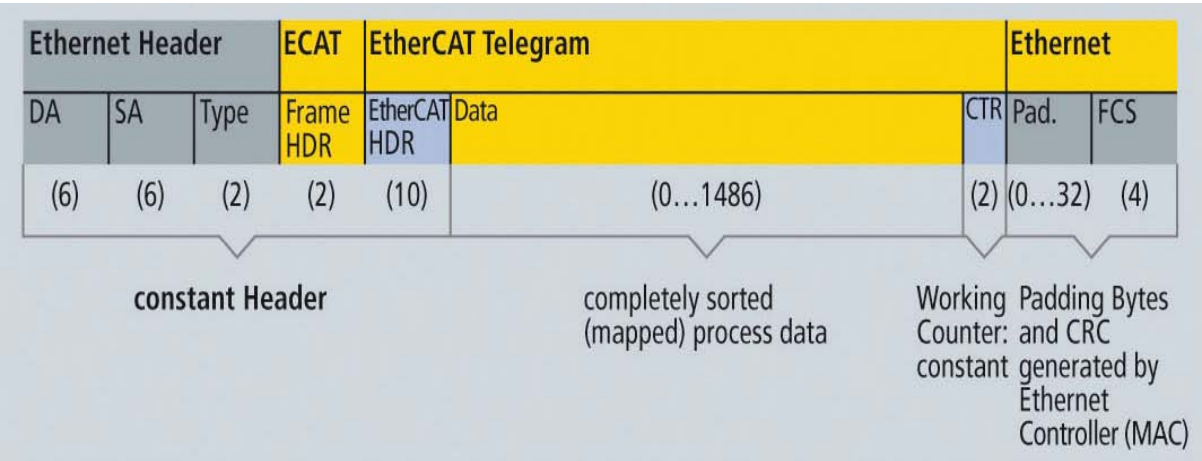


Fig. 4.19 - Principe de fonctionnement EtherCat

Par rapport à l'installation d'un réseau EtherCat toutes les topologies sont acceptées: bus, ligne ou étoile.





Figs. 4.20 et 4.21 – Composition des trames EtherCat

L'EtherCat Technology Group est l'organisation chargé de cette solution Ethernet Industriel Temps Réel. Dans ce groupe internationale on trouve des réprésentants de l'industrie automobile comme BMW ou IVECO. Il faut remarquer que FESTO et SMC appartient à cette organisation. En fait, SMC est le seul fournisseur pneumatique analysé qui propose cette solution pour son module bus de terrain.

En plus, ce groupe a une collaboration très forte avec les groupes de travail de communication numérique de l'IEC; La spécification du protocole est un standard publié comme IEC/PAS 62407 en 2005 et elle a été intégré dans les standars internationaux de bus de terrain IEC 61158 et IEC 61784-2. EtherCat fait parti aussi de la norme ISO15745-4 où on trouve la description du standard XML.

Les applications typiques pour ce protocole sont la robotique, l'injection des moules, les outils de semiconducteurs et, en général, les machines de contrôles.

Enfin, l'utilisation actuel reste faible au milieu industriel à cause de la lente impantation de l'Ethernet Industriel, mais ce bus de terrain a un grand avenir dû au support des industriels et à la spécification ouverte Temps Réel.

4.2.1.4.2. Ethernet Powerlink

Ethernet Powerlink (EPL) est un protocole deterministe temps réel pour le standard Ethernet Industriel.

EPL a été créé respectant le standard. Il développe une expansion de l'Ethernet standard avec un mécanisme mixte d'enquête et utilisation de rainures de temps. Par conséquent on obtient les suivants caractéristiques.

- Garantie du transfert des données temporelles critiques dans un cycle isochronique très court avec temps de réponse configurables.
- Synchronisation de temps pour tous les noyaux du réseaux avec une grande précision
- transmission des données moins critiques dans un cannaux asynchrone reservé.

Les impléméntations modernes on abouti temps de cycle au-dessous de 200 µs et une précision temporelle inférieur à 1 µs.

Pour réussir une implémentation Ethernet Industriel deterministe EPL prend la décision de desactiver la méthode CSMA/CD par moyen des mécanismes de traitement et elimination des collisions par rapport à l'algoritme de planification EPL.

En plus du cycle basique de fonctionnement (phae de début, phase isochrone, pase asynchrone) une autre méthode Temps Réel consiste à multiplexer les temps d'utilisation en rainures pour optimiser la bande passante (voir fig. 4.22).

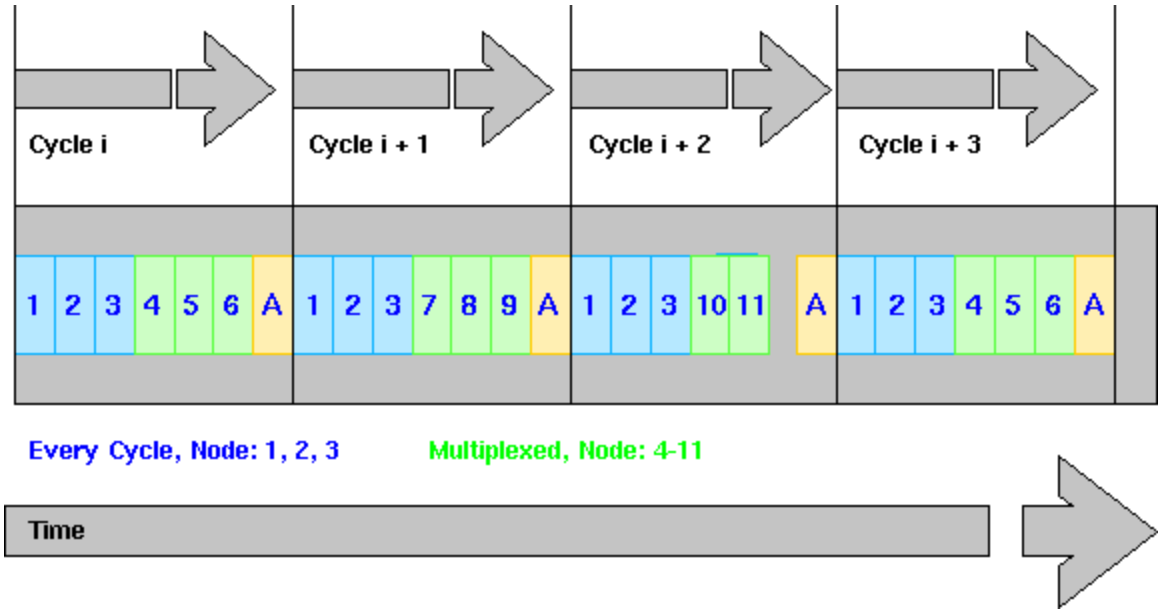


Fig. 4.22 - Multiplexation de la bande passante en rainures de temps

EPL est un standard développé par l'EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group). Cette organisation a été créé en Juin 2003 comme une association independante. Son principal intérêt est l'étude des avantages des systèmes Temps Reel de hautes performances ar rapport à l'Ethernet Industriel. L'EPSG coopère avec des organisations internationales comme CiA (CAN in Automation) et l'IEC.

4.2.1.4.3. Sercos

SERCOS est un acronyme anglais pour SErial Realtime COmmunications System.

Le protocole est conçu pour assurer des communications série rapides (2, 4, 6 et 8 Mb/s) en temps réel sur fibre optique. Il est reconnu pour sa rapidité et son comportement déterministe. L'interface SERCOS assure synchronisation avec une précision de µs pour n'importe quel nombre des dispositifs réliés au réseau. On peut choisir un temps de cycle de 62 µs, 125 µs, 250 µs et multiples de 250 µs jusqu'à 65 ms.

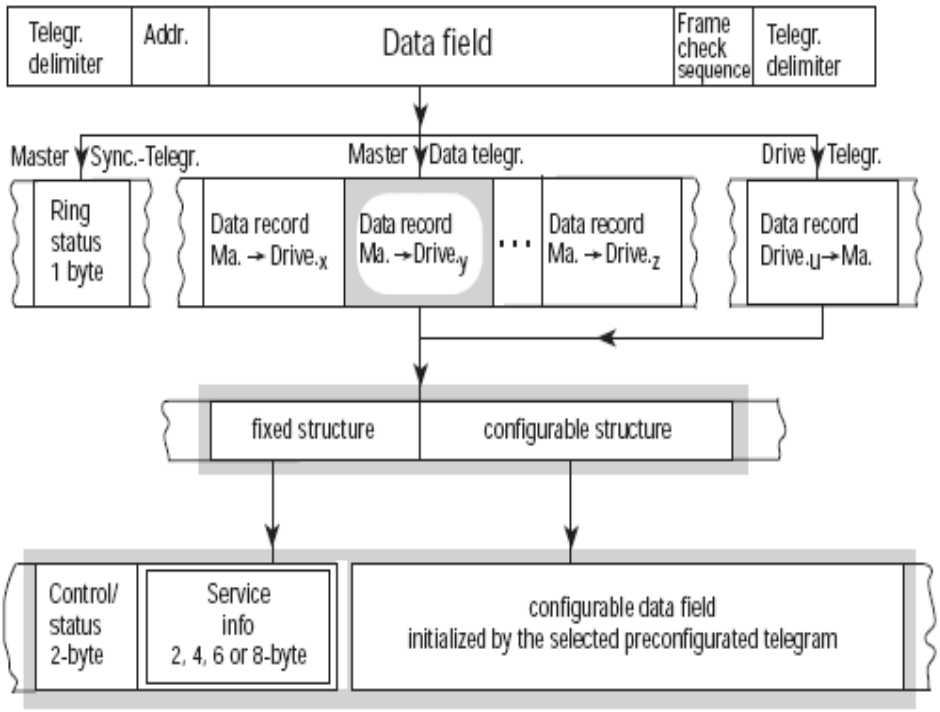


Fig. 4.23 - Structure de la trame et méthodes de synchronisation SERCOS

La gamme de produits et applications industrielles utilisés souvent dans les réseaux SERCOS est important. On peut ajouter des interfaces automate, des modules E/S, des contrôles numériques, des vannes electrohydraulques, des axes mécaniques, des moteurs linéaires...

Ce protocole définit un standard d'interface numérique utilisé notamment en robotique. L'interface SERCOS est un standard pour les dispositifs de contrôle numérique des machines publié dans la norme IEC61491 depuis Novembre de 1995 et EN61491 depuis Août de 1998 . L'organisation chargé du travail de sa standardisation est la SERCOS Interface Organisation. Il faut remarquer que BOSCH-Rexroth appartient à cette

organisation et joue un rôle très important pour le développement de ce réseaux de terrain. Malheureusement, cette société ne propose pas ce bus pour les îlots de distribution pneumatique.

4.2.2. ControlNet

ControlNet est un protocole crée par Allen-Bradley, aujourd'hui partie de Rockwell Automation. Ce protocole a la possibilité d'être utilisé dans tous les niveaux de l'automatisation industrielle, mais il est performant dans le niveau cellulle-contrôle. Il est aussi employé pour le niveau de terrain quand on essaie de mettre en place une configuration rapide d'automatisme de son créateur.

La trame de communication ControlNet est assez complexe à cause de l'utilisation d'un nouveau modèle de communication très habituel dans le domaine de bus de terrain qui est le producteur/consommateur. On expliquera ce modèle après definir tous les champs du message ControlNet.

Quand une application veut transmettre n'importe quelle information, celle-ci est organisé en Link Packets (Lpacket). Un ou plusieurs Lpacket pet être dans la trame de communication du niveau MAC envoyé au noeuds par le milieu physique.

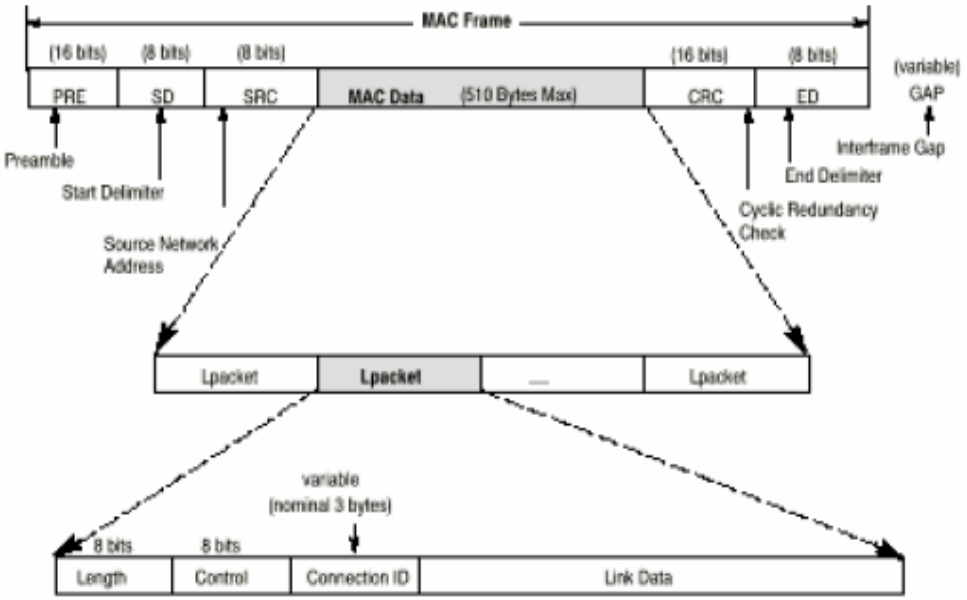


Fig. 4.24 - Trame ControlNet

Dans chaque transmission, chaque station peut emettre une seule trame MAC, avec un maximum de 510 octets. Tous les Lpackets sont placés dans le champ MAC Data et aux alentours de ce champ il existe les champs classiques de service: Preambule, Start Delimiter, Adress Source, CRC, End Delimiter... mais il manque l'adresse destination à cause du modèle producteur/consommateur. Ces champs ont la même fonction que dans l'ethernet.

Chaque Lpacket est composé en même temps d'une série d'elements(fig 4.25): la longueur, un champ de contrôleur, un identifiant de connection qui peut être fixe (2 octets) ou général (3 octets) et qui répresente une méthode efficace pour répérer un message d'objet particulier, et, finalement, les données proprement dites.

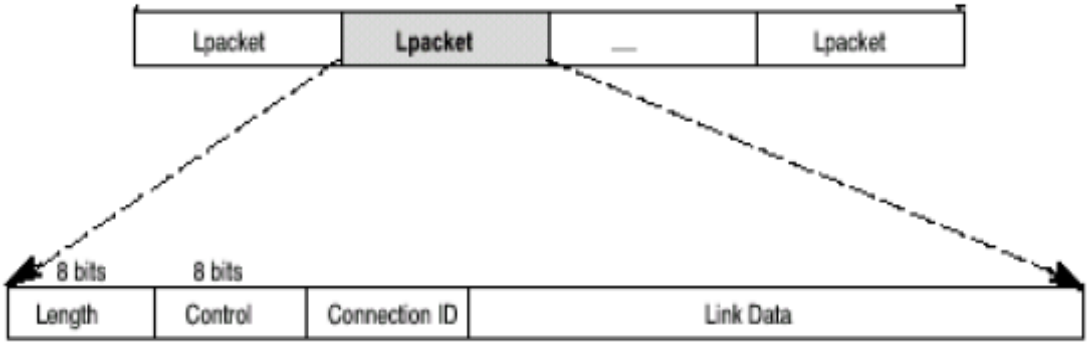


Fig. 4.25 - Contenu de chaque Lpacket

Le modèle producteur/consommateur est utilisé pour l'échange d'information sur ControlNet. La base de ce modèle est l'existance d'un producteur qui est l'émetteur des données et le consommateur qui est le destinataire. Chaque noeud peut jouer les deux rôles dans différents instants de temps.

Les principales différences par rapport au modèle classique source/destination sont les suivantes:

- Les consommateurs peuvent «consommer» les données produites par un seul producteur.
- Les noeus peuvent être sinchronisés.
- La bande passante est optimisée pour des meilleures prestations.
- Réseau plus adapté pour la programmation et la communication

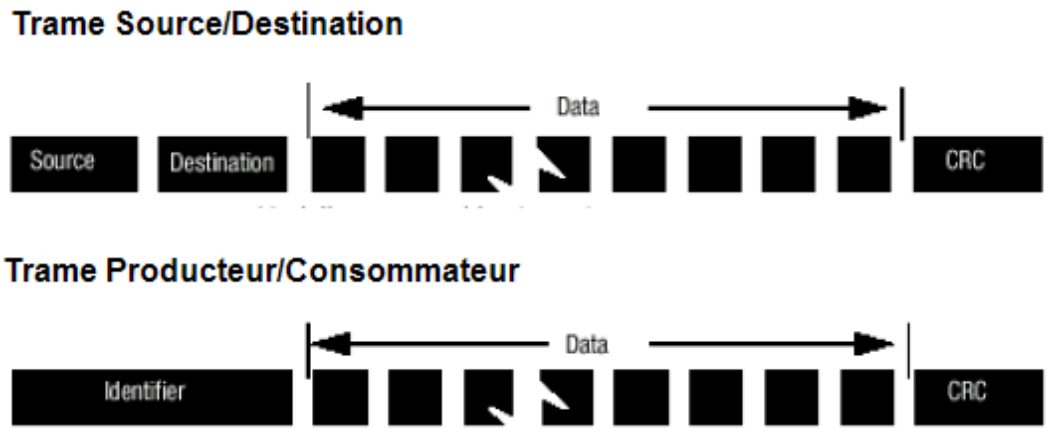


Fig. 4. 26 – Modèles de communication

CTDMA pour **C**oncurrent **T**ime **D**omain **M**ultiple **A**ccess est la stratégie algoritmique d'accès au milieu physique du réseau ControlNet. Le determinisme de ControlNet s'obtient en permettant l'accès au milieu physique d'une partie des noeuds seulement un interval de temps préétabli.

L'objectif qu'on cherche avec CTDMA est éssayer de regler le temps d'acès des stations par moyen d'un temps de mise à jour configurable de 2 à 100 ms appelé NUT (Network Update Time) qui est la base de l'accès au milieu physique ControlNet.

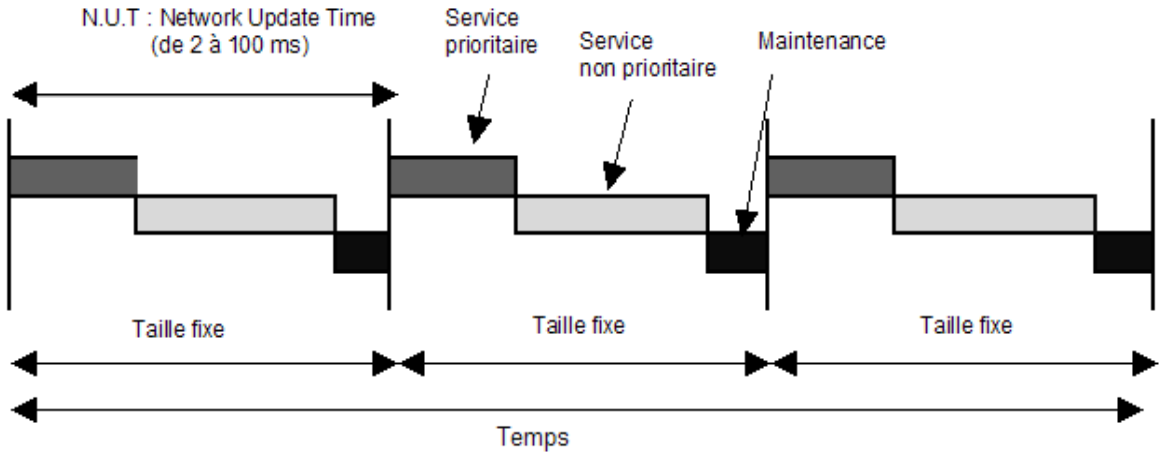


Fig. 4.27 - Principe de fonctionnement du CTDMA

Le NUT est la fréquence avec laquelle l'interval de temps dans lequel les données peuvent être envoyées (Network Update Interval: NUI) se répéte. Le NUI est divisé en trois sessions:

- Service prioritaire (scheduled service): E/S TOR, E/S non TOR, partage de données
- ervice non prioritaire (unscheduled service) pour messagerie, supervision IHM
- Maintenance (guardband): maintenance réseau, morceau de trame généré par le keeper

La première partie du NUI est réservée au traffic deterministe (time-critical data) qui doit être transmise dans un temps et une vitesse concrets.

Dans cette première partie, Smax, ou S selon bibliographies, répresente la plus grande adresse de réseau que peut reserver un morceau de temps prioritaire du NUI. Dans cet interval, tous les noeuds qui ont une adresse inférierue au paramètre Smax ont l'opportunité de transmettre une trame MAC maximum. Chaque noeud avec une adresse entre 1 et Smax a l'opportunité de transmettre à chaque NUT. Les noeuds avec une adresse supérieure ne peuvent pas envoyer pendant ce morceau de temps prioritaire. L'adresse 0 est réservé pour des utilisations futurs mais ne peut pas être utilisé par un noeud.

La seconde partie du temps démarre après que tous les noeuds avec besoin de temps critqiue ont eu la possibilité de transmettre. Cette partie est reservée pour la transmission non deteriniste. Là il existe un paramètre, Umax ou U, qui est la plus grande adresse de réseau qui a le droit de transmettre pendant le temps non prioritaire du NUT, par défaut Umax = Smax + 8. Comme avec Smax, les noeuds avec adresse supérieure à Umax ne peuvent pas transmettre pendant le temps non prioritaire.

Le jeton pendant ce temps unscheduled d'une adresse n à une adresse Umax ou à une adresse n+1 et il obtiendra la possibilité de transmettre à ce moment dans le NUT. On a une technique de rotation de l'opportunité de transmettre.

La troisième partie du NUI est réservée à la maintenance du réseau. Le noeuds avec l'adresse la plus petite joue le rôle de “keeper”. Sa fonction est de transmettre une trame qui contient les valeurs mises à jour des paramètres Smax et Umax, et le NUT pour le service prioritaire ou scheduled. Un keepet actif est le noeud keeper qui gère le réseau.

Toutes les parties sont présentes dans le schéma de la figure 4.28.

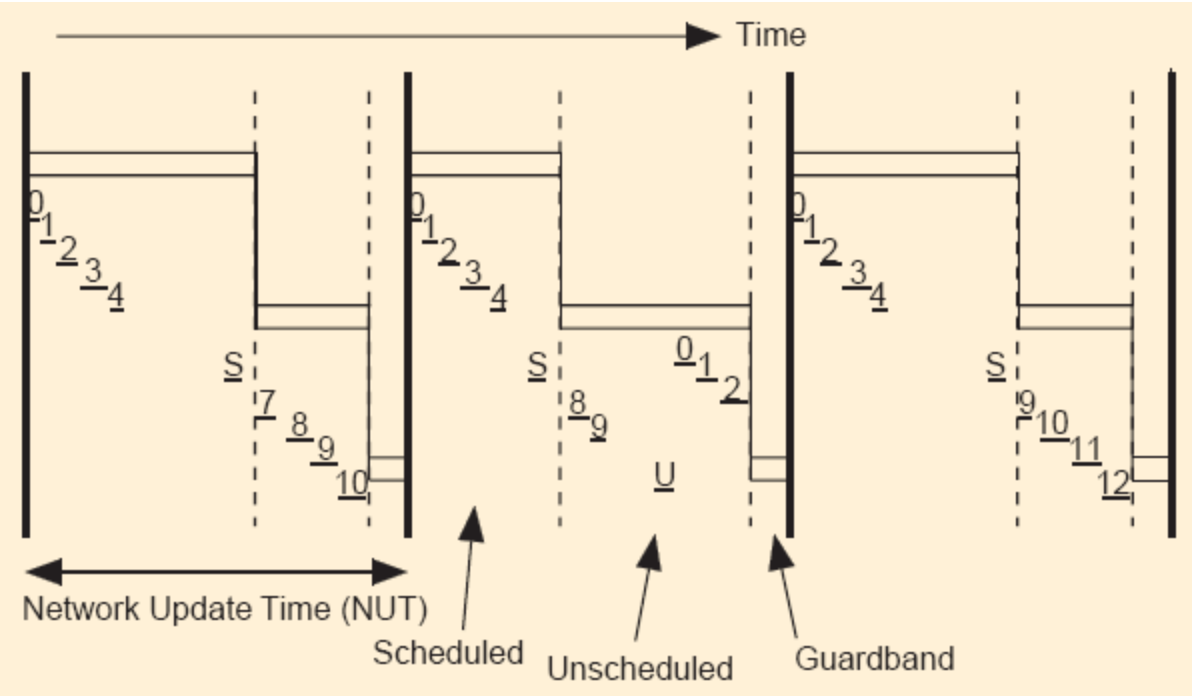


Fig. 4.28 – Smax (S) et Umax (U) sur les parties du NUT

Par rapport au câblage il existe plusieurs possibilités, mais la principale solution pour le milieu physique ControlNet et le câble coaxial avec prises soit RG-6 et RG-6F, soit connecteurs BNC. Pour des longues distances on utilise la fibre optique.

ControlNet accepte plusieurs topologies: ligne avec bretelles, étoile, arborescence, et anneau redondant. Pour créer d'autres topologies il faut l'utilisation de répéteurs. Un point fort de la structure topologique de ce protocole est la redondance physique.

Le réseau Controlnet prevoit l'installation d'un deuxième câblage appelé milieu redondant pour des raisons de robustesse et fiabilité. Les noeuds transmettent le signaux en même temps pour les deux câbles et le récepteur fait une comparaison continue pour prendre le meilleur des deux. C'est évident que le deuxième câble est utilisé la plus part du temps en cas de défaillances et maintenance du premier (fig 4.29).

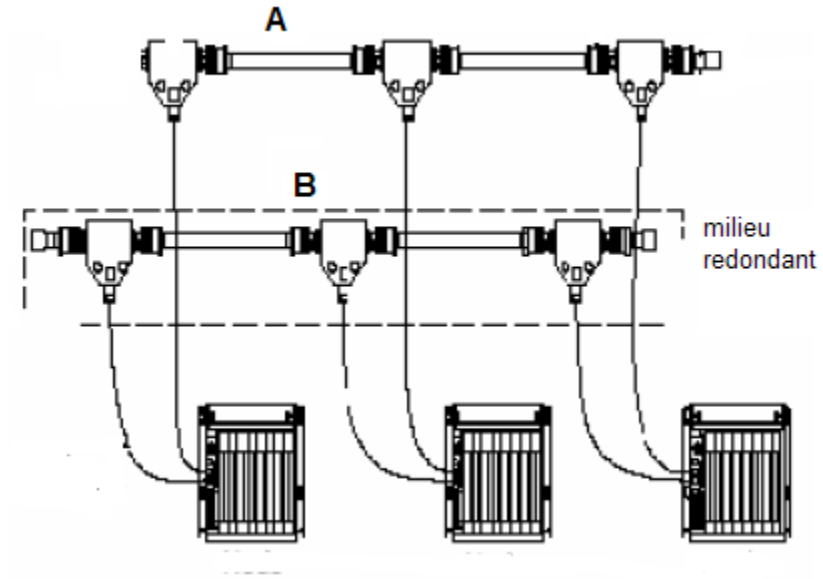


Fig. 4.29 - Structure Controlnet redondant

Le nombre maximum d'elements d'un réseau ControlNet est 99. La distance dépend du nombre de noeuds dans un segment qui est une section de câble dans un structure linéaire avec bretelles avec des terminaison au deux bouts de 75 ohms. Le débit de ControlNet est 5 Mb/s.

La formule général qu'on utilise pour le calcul de la distance ControlNet est la suivante:

1000 m – 16.3*(Nombre des noeuds - 2)

Pour gagner distance ou ajouter des elements il faut utiliser des répeteurs selon la figure 4.30 (en utilisant de câble RG-6). La longueur maximum d'un réseau ControlNet peut arriver au 20 km.

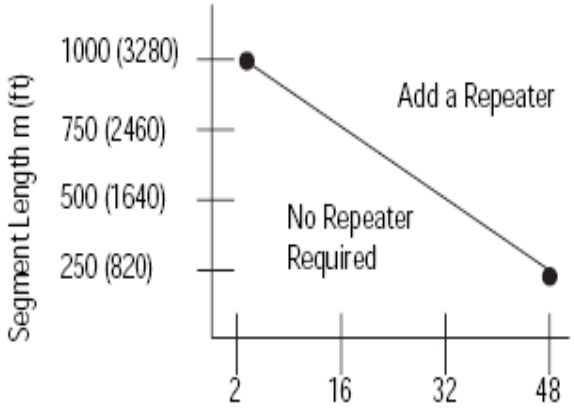


Fig. 4.30 - Distance et répéteurs ControlNet

L'utilisation de bus de jeton pour la logique du réseau rend Controlnet deterministe avec une productivité et une efficience excellentes avec des charges très élevées d'information. Pendans les opération de réseau, l'utilisation du jeton permet ajouter ou supprimer des elements dynamiquement. Les segments Scheduled and Unscheduled à chaque cycle NUT font de ControlNet très adapté pour les messages temps critique ou non critique.

Par contre, le bus de jeton n'est pas éfficient du tout pour des charges faibles de traffic. En général, quand il y a beaucoup des noeuds dans le réseau, la plus part de temps est utilisé pour passer le jeton entre noeuds quand le traffics des données est faible.

ControlNet est un de profils compris dans le standard EN50170 et le IEC61184. L'association qui soutient ce protocole est ControlNet International qui est la propriétaire de la spécification fermée de ce bus de terrain.

Ce réseau de terrain reste un produit très facile de configurer pour les catalogues d'automatisme Rockwell Automation avec ces logiciels RSNetworx, RSLinx et sa gamme d'automates ControlLogix. Le principale avantage est son approche très «software» qui simplifie beaucoup la configuration pour l'automaticien.

4.2.3. DeviceNet

DeviceNet est un protocole de niveau terrain dessiné pour la communication entre dispositifs, capteurs, actionneurs et contrôleurs industriels.

Le bus de terrain d'Allen-Bradley a pour couche applicatif les services basés en objet du protocole CIP déjà expliqué dans la rubrique Ethernet/IP de ce même étude.

Pour la couche liaison des données, le protocole CAN est la spécification choisi pour l'implementation du niveau MAC de DeviceNet. La spécificaticion CAN définie deux états du bus appelés dominant (zero logique) ou recessive (un logique). N'importe quel station peut rendre le bus à un état dominant. Le bus peut être seulement dans l'état recessive quand il n'y a pas de noeud dans l'état dominant. Ce fait est le principe d'arbitrage utilisé par CAN.

Plusieurs types de trames existent sur CAN: trame des données, de surcharge, «remote», trame d'erreur... Les données sont déplacés vers DeviceNet par moyen de la trame des données. Les autres trames sont plutôt rares sur DeviceNet. On montre sur la fig. 4.31 la trame des données.

CAN est un réseau porteur de signal. Un noeud peut transmettre quand les autres n'envoient pas d'information. Ce fait fournit capacités p2p. Si deux ou plus noeuds CAN essaient d'acceder au réseau en même temps, l'algoritme CSMA/NBA (Carrier Sense Multiple Access with Non destructive Bitwise Application) arbitre de façon que les données ni la largeur de bande ne sont pas perdus. Tous les recepteurs du réseau se sinchronisent avec le champ Start of Frame avec la transition recessive-dominant.

Pour entrer plus profondément dans le fonctionnement du DeviceNet une connaissance de la spécification CAN est imprescindible. Ce n'est pas le but de cette étude de décrire avec une grande précision les méthodes de ce protocole, mais de rester dans un analyse plus général du réseau DeviceNet. On encourage le lecteur de cette étude à consulter la spécification Bosch 2.0 du procole CAN qui est disponible avec un accès libre.

Ce protocole de terrain utilise un modèle de communication producteur/consommateur avec deux types de stations: mâitres et esclaves. Ces derniers doivent être classé dans un type de service E/S pour l'échange avec le mâitre parmi trois possibilités: Change Of State, Strobe et Polling.

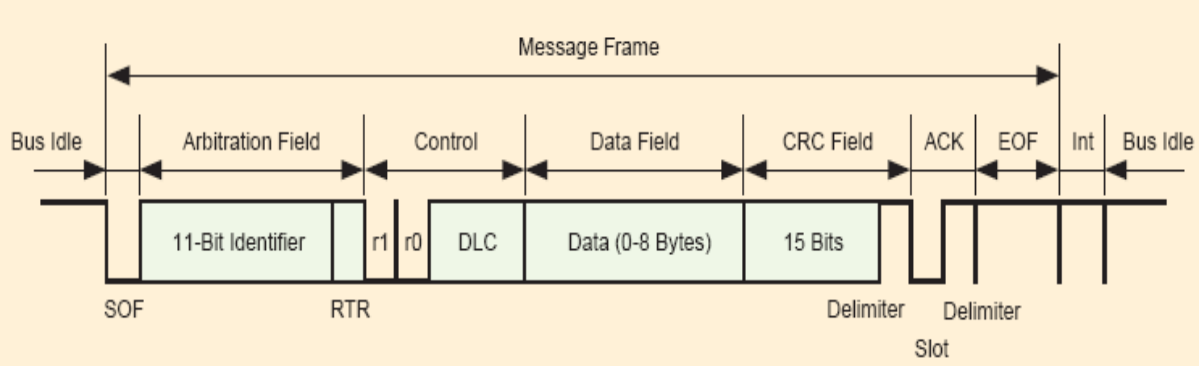


Fig. 4.31 – Trame CAN standard spécification 1.0

DeviceNet utilise une topologie linéaire qu'on appele trunk/drop line, c'est-à-dire, on peut rajouter au bus principales des lignes avec des noeuds dans n'importe quelle structure comme on observe dans la fig 4. . On peut avoir sur ce réseau de terrain un nombre maximum de 64 noeuds. Les débits de vitesse dépendent des distances utilisé dans la plannification du réseau: 125 kb/s, 250 kb/s et 500 kb/s pour 500, 250 et 100 m respectivement. Comme câblage on utilise le câble de pair torsadé. Pour les bouts du bus principale on utilise une resistance de terminaison de 120 ohms.

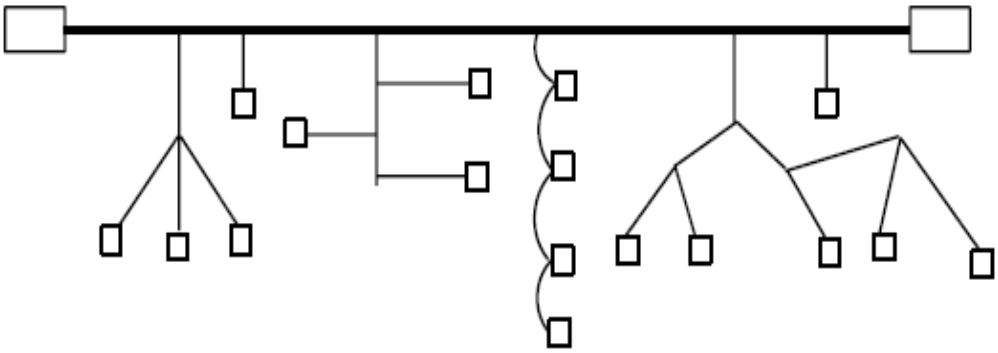


Fig. 4. - Topologie DeviceNet

En résumé, on peut dire que DeviceNet est l'ensemble des protocoles CIP pour la couche application et CAN pour les couches liaison des données et physique.

CAN est un protocole deterministe optimisé pour les messages courts. La priorité des messages est spécifiée sur le champ d'arbitrage. Les messages à haute priorité toujours gagne l'accès au milieu physique pendant l'arbitrage. Par conséquent, on peut garantir le délai pour les messages prioritaires.

Par contre, le majeur inconvenient de CAN par rapport à d'autres bus de terrain est une vitesse de transmission trop lente (maximum de 500 kb/s). La productivité est, donc, limitée si on fait la comparaison avec d'autres protocoles du niveau dispositif. La sinchronisation de bit demandée pour le protocole CAN limite aussi la longueur du réseau DeviceNet. CAN n'est pas non plus adapté pour la transmission des messages larges, à cause des 8 octets des données dans la trame du protocole.

DeviceNet est soutenu par l'organisation ODVA (Open Devicenet Vendor Association). Les possibilités de futur de ce protocole pour le niveau dispositif sont enormes grâce à l'utilisation du CAN dans la couche liaison des données.

CAN est une technologie ouvert et standard qui a une acceptation majeure dans l'industrie automobile. En plus, les grandes sociétés comme Motorola, Philips, NEC, Hitachi, ou Siemens ont une large gamme des chips avec des implementations du protocole CAN.

4.2.4. Profibus

Profibus est une spécification de bus de terrain ouverte répondant aux besoind d'un large éventail d'applications, notamment du manufacturier et du process, mais aussi de l'automatisation de bâtiments. Ce système de bus peut être utilisé aussi bien pour la transmission de données exigeant une extrême reactivité, avec des temps de réponse courts, que pour les échanges d'informations complexes.

Profibus était un projet financé en 1987 par le gouvernement allemande avec la participation d'une dizaine d'entreprises comme par example

ABB, AEG ou Siemens. L'objectif était la création et développement d'un standard de communication bus de terrain conçu aussi bien pour le manufacturier que pour le process.

Ce bus de terrain est devenu norme allemande en 1991/1993 (DIN 19245-1 à 3), puis norme européenne en 1996 (EN50170). En plus, la communication Profibus respecte les normes IEC61184 et IEC61784. Ce cadre normatif répond aux besoins d'ouverture et indépendance vis-à-vis des fournisseurs, tout en garantissant l'interopérabilité, c'est à dire, a communication entre équipements multiconstructeurs.

La standardisation de Profibus est une des raisons les plus importantes de la reconnaissance, de la promotion et de la réussite de ce bus de terrain dans le milieu industriel. Etant donnée son origine allemand, il est évident que Profibus a une forte implantation européenne, surtout grâce au soutien de Siemens.

Aujourd'hui, Profibus est géré par Profibus International (PI) et aussi par la Profibus User Organisation (PNO). Ces organisations sont chargés de la promotion, développement, certification des équipements et assistance technique de Profibus. Ils ont aussi une mission très importante qui est la protection de l'investissement des utilisateurs et des constructeurs, grâce à sa participation active aux travaux de normalisation.

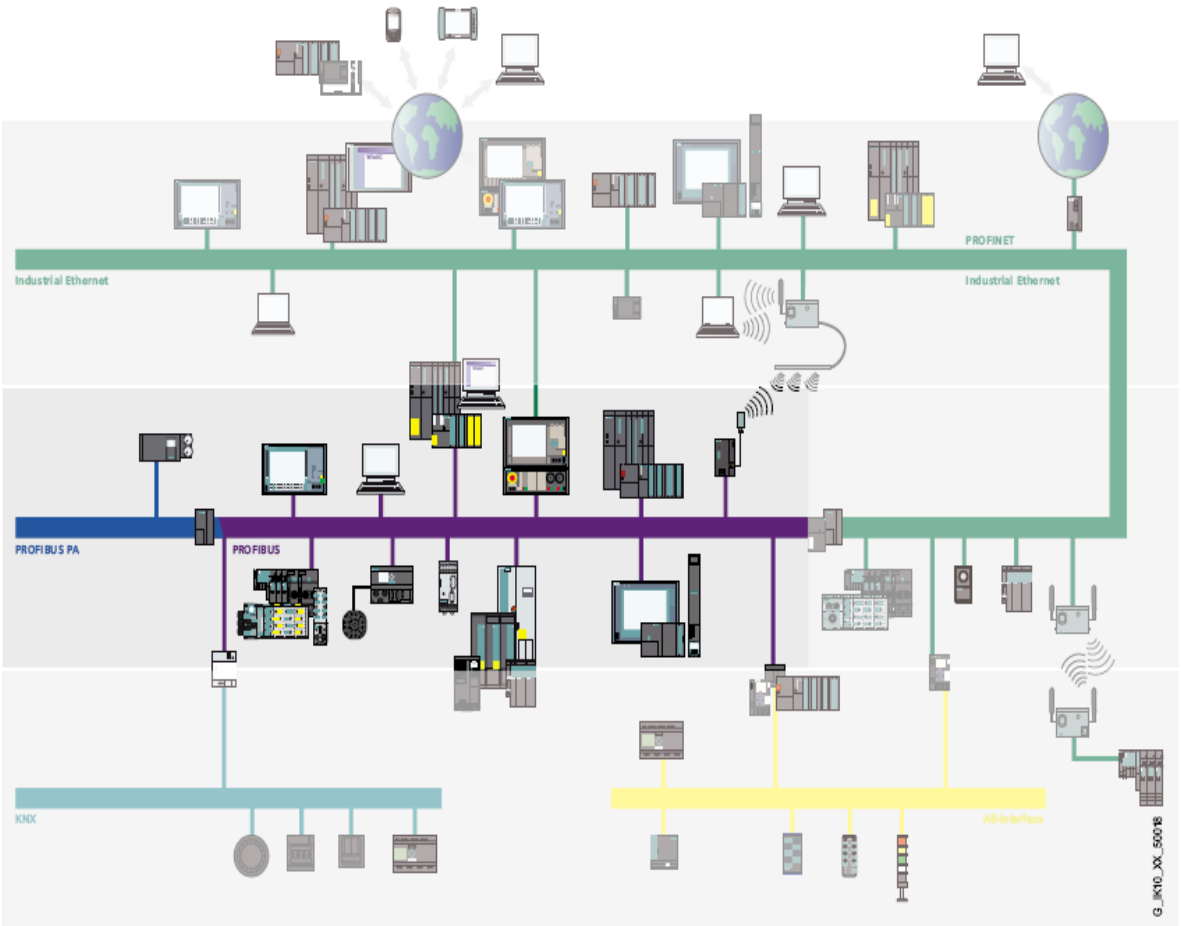


Fig. 4. - Profibus et les connexions de communication

Profibus spécifie plusieurs versions de couches “Physique” selon la technique de transmission (fig. 4.). qui sont toutes conformes aux normes internationales IEC61158 et IEC61784.

Les trois techniques RS-485, MBP et fibre optique sont optimisées pour une utilisation concrète.

RS-485 est une technique simple et économique convenant surtout aux tâches exigeant des débits éleveés. Son support de transmission est la paire torsadée blindée. L'utilisateur a le choix du débit dans la plage de 9,6 kb/s à 12 Mb/s.

Tous les equipements sont réliés en bus, selon une structure linéaire. Un maximum de 32 stations sont raccordables et au-delà de ce nombre ou en cas d'extension du réseau il faudra utiliser des répéteurs pour relier les divers segments de bus. La longueur du câble dépend de la vitesse de transmission (fig. 4.).

Débit [kbit/s]	Longueur de segment [m]
9,6/19,2/45,45/93,75	1200
187,5	1000
500	400
1500	200
3000/6000/12000	100

Valeurs données pour un câble de type A aux caractéristiques suivantes :
Impédance 135 à165 Ω
Capacité . 30 pf/m
Résistance de boucle .110 Ω/km
∅ conducteur > 0,64 mm
Section conducteur > 0,34 mm^2

Fig. 4. Correspondance débit/longueur de segment pour RS485

Il éxiste la version de cette interface pour les zones de de sécurité intrinsèque appelée RS-485 IS

La transmission MBP tire son acronyme du Codage **M**anchester et d'une alimentation électriques des dispositifs de terrain par le bus (**B**us **P**owered). Cette technique est une trasmission synchrone, au débit fixe de 31,25 kb/s. Elle est la technique de transmission pour le profil Profibus-PA. Elle est bien implanté dans le process car elle répond aux deux grandes exigences de la chimie et de la petrochimie: sécurité intrinsèque et alimentation des instruments sur le bus par un câble bifilaire. Elle fait de Profibus un réseau sécurisé et exploitable en atmosphère explosible.

Profibus sur MBP accepte des topologies arborescentes ou linéaires en T, les deux étant combinables. En règle générale, cette transmission se cantonne à un segment spécifique d'une usine (equipement de terrain en zone dangereuseà lequel est ensuite relié au segment RS485 (système de pilotage et outils d'ingénierie dans la salle de conduite) à l'aide de “coupleurs de segments” ou de “jonctions” (voir fig. 4.).

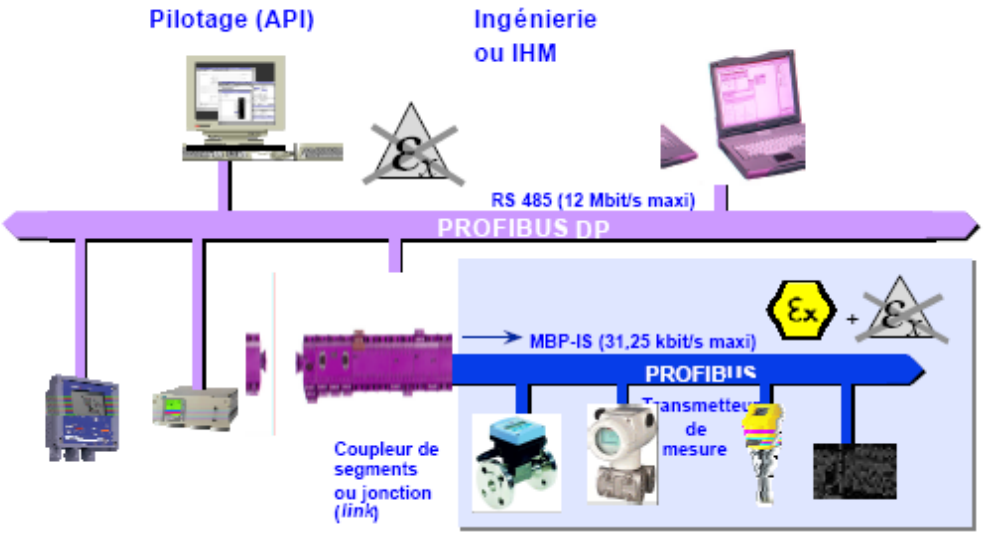


Fig. 4. - Topologie de réseau et téléalimentation des équipements de terrain sur le bus en transmission MBP

Finalement, la transmission fibre optique est recommandée pour les milieux industriels à forte pollution électronmagnétique ou des réseaux à longue portée.

Trois topologies sont possibles: étoilée, annulaire et linéaire. Dans le cas le plus simple, un réseau optique fait appel à des coupleurs électriques/optiques, reliés à l'équipement et à la fibre optique sur une interface RS485 qui permettent de basculer d'un support de transmission à l'autre selon les circonstances.

	MBP	RS 485	RS 485-IS	Fibre optique
Transmission	Numérique, synchrone orienté bit, codage Manchester	Numérique, différentielle, signaux non référencés au 0 V	Numérique, différentielle, signaux non référencés au 0 V	Numérique, optique, signaux non référencés au 0 V
Débit	31,25 kbit/s	9,6 à12 000 kbit/s	9,6 à1500 kbit/s	9,6 à12 000 kbit/s
Sécurisation	En-tête, caractères de début et de fin protégés contre les erreurs	Distance de Hamming = 4, bit de parité, caractères de début et de fin	Distance de Hamming = 4, bit de parité, caractères de début et de fin	Distance de Hamming = 4, bit de parité, caractères de début et de fin
Support	Paire torsadée blindée	Paire torsadée blindée, type A	Câble à4 fils torsadés blindés, type A	Fibre de verre multimode ou monomode, PCF, fibre plastique
Téléalimentation	En option, sur fil de données	Sur fil supplémentaire	Sur fil supplémentaire	Sur ligne mixte
Protection en zone explosible	Sécurité intrinsèque (EEx ia/ib)	-	Sécurité intrinsèque (EEx ib)	-
Topologie	Linéaire et/ou arborescente avec terminaison	Linéaire avec terminaison	Linéaire avec terminaison	Étoilée et annulaire en standard ; linéaire possible
Nombre maxi de stations	32 par segment ; 126 au total par réseau	32 par segment sans répéteur ; 126 avec répéteur	32 par segment sans répéteur ; 126 avec répéteur	126 par réseau
Nombre maxi de répéteurs	4	9 avec rafraîchissement du signal	9 avec rafraîchissement du signal	Illimité avec rafraîchissement du signal (retard du

Fig. 4. - Caracteristiques des techniques de transmission Profibus

L'accès au bus, géré par la couche liasion de données du modèle OSI, définit la procédure entre maître et esclaves, ainsi que la communication intermaître par la méthode du jeton (Fig 4.). La couche 2 se charge également de la sécurisation des données et du traitement des trames.

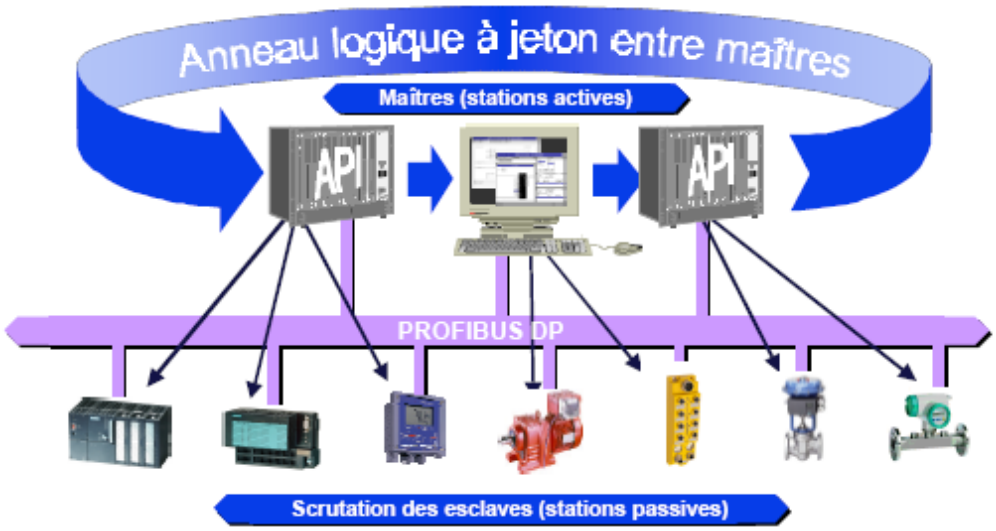


Fig. 4. - La gestion d'accès à Profibus.

Cette méthode d'accès est détermniste, de façon q'une seule station a le droit d'acceder au bus à chaque moment. Les deux objectifs du mécanismes sont:

- Assurer le temps suffisant pour que chaque station réalise ses tâches de communication dans un interval de temps défini.

- Les tâches de communication cycliques seront implementées de la manière la plus simple possible pour permettre la communication entre un mâitre et un ou plusieurs esclaves.

Le mécanisme de pas de jeton garanti le droit d'accès au bus de chaque maître pendant une période de temps. Le pas de jeton est une tramme spéciale qui permet la cession au noyau qui le reçoit, du droit d'acceder au bus. Le jeton suit une séquence selon un anneau logique, avec un temps maximum fixé pour la rotation complète du jeton.

La communication maître-esclave permet que le mâitre qui possède le jeton dans un instant précis se communique avec les esclaves dépendants de lui. Le maître peut envoyer des messages aux esclaves et lire la réponde d'eux. De cette manière il est possible d'avoir un système avec un unique maître et plusieurs esclaves, un système composé seulement pour stations actives (multimaître), ou un système hybride.

Les trammes Profibus utilisent délimiteurs de début et fin de tramme et aussi de bits de parité selon le standard IEC 870-5-1.

Preambule	**Délimiteur du début**	**Séquence PhSDU (FDL-Telegram)**	**Délimiteur du fin**

Fig. 4. - Format de trame Profibus

Profibus offre trois profils, compatibles entre eux, chacun d'entre eux adapté pour un niveau concret au sein de la communication d'usine:

- Profibus-FMS: (Fieldbus Message Specification) destiné principalement à la gestion de cellules, c'est à dire au dialogue entre automatismes (API et PC)

- Profibus-DP: (Decentralized Periphery) réservé aux échanges simples, rapides, cycliques et déterministes au niveau terrain. Optimisé pour des applications haute vitesse et coût réduit. Il est dessiné pour la communication entre systèmes de contrôle (APIs) et la périphérie décentralisé au niveau de dispositif (capteurs et actionneurs). C'est le profil le plus utilisé et le plus étendu dans le monde industriel.

- Profibus-PA: (Process Automation): occupe le créneau de l'automatisation de process. Ce profil est déssiné pour des ambiances explosifs ou il éxiste des fortes contraintes de sécurité.

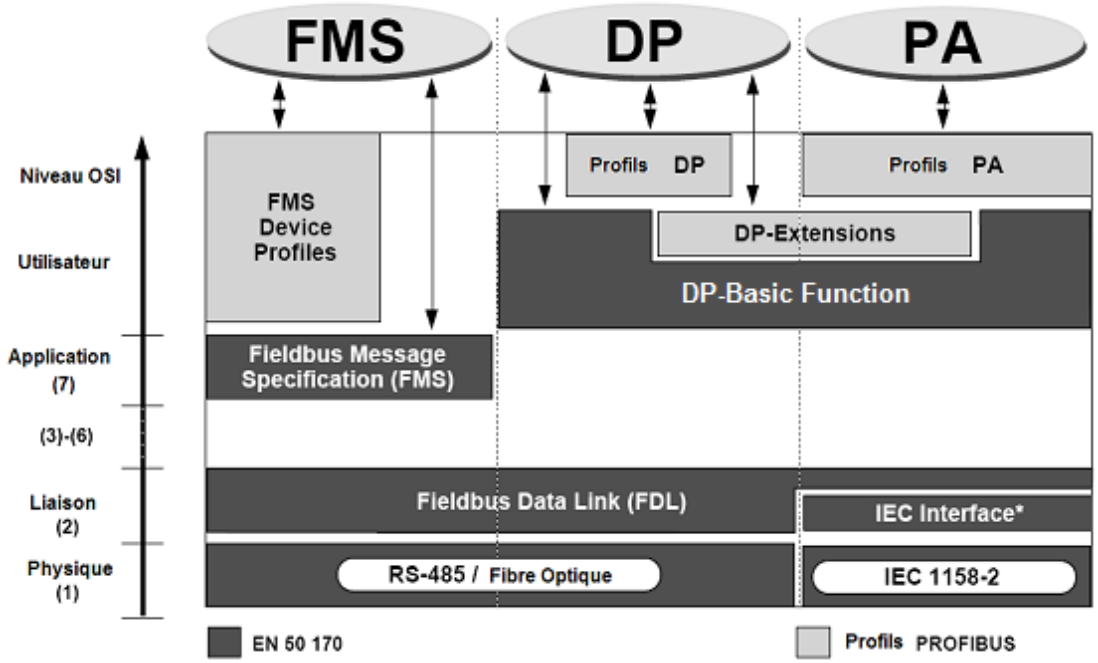


Fig. 4. - Architecture ProfiBus

4.2.5. AS-i

Le protocole AS-i (Actuator Sensor Interface) est le plus simple des bus de terrain utilisé avec Automates Programmables Industriels, systèmes d'automation basé sur PC et autres elements de contrôle industriel.

Ce bus est présent au plus bas niveau de la pyramide CIM, c'est à dire, il est un excellent bus du niveau dispositif. Il est dessiné, donc, pour connecter de dispositifs TOR (Tout ou Rien) comme actionneurs, capteurs et applications de processus avec un seul câble. C'est une technologie ouvert qui est supporté par des nombreux entreprise d'automation, comme Siemens.

AS-i est un réseau alternatif très efficient si on fait la comparaison avec les systèmes de câblage 4-20 mA classiques et le fil à fil. Les applications où ce bus de terrain est utilisé sont nombreuses: convoyeurs, electrovannes de contrôle de procédé, lignes d'embouteillage et production de nourriture, ascenseurs...

Le groupe chargé du développement du protocole a mis en fonctionnement, un profil AS-i spécial pour la sécurité appelé Asi-Safe qui est utilisé pour les cas d'emergence et d'arrêt d'urgence dans l'usine. On peut ajouter les dispositifs de sécurité avec cette spécification dans le même câble qu'AS-i et on fournit le support de sécurité SIL 3 par rapport au standard IEC 61508.

Il est possible de remplacer le câble AS-I (le célèbre câble jaune) par un câble rond standard à deux conducteurs. La longueur maximale d'un segment AS-I est de 100 mètres; toutefois il est possible d'augmenter cette distance en utilisant des répéteurs en atteignant la limite de distance entre l'automate et le dernière dispositif qui est de 300 mètres.

La popularité de ce bus de terrain, grâce à sa simplicité d'installation et déploiement réprésente un point très positif pour la continuité pendant longtemps d'AS-i dans le marché de l'automatisation industrielle. Le seul inconvenient reste son faible débit par rapport aux nouveaux réseaux de terrain existants aujourd'hui.

4.3. Synthèse de Protocoles

En résumé, on peut classer les principales protocoles de terrain en deux grandes familles.

D'un côté, la famille qu'on peut appeler «Rockwell» où on trouve le protocole Ethernet Industriel Ethernet/IP pour les niveaux échanges d'information et cellule, ControlNet pour le niveau de cellule, et finalement DeviceNet au niveau terrain pour la communication des dispositifs. Aujourd'hui cette structure ajoute une couche applicative commune avec le protocole CIP (fig 4.). Cette famille a le gros inconvenient d'être fermé et propriétaire.

D'autre coté on trouve la famille des protocoles Siemens (fig. 4.): ProfiNet comme solution Ethernet industriel, Profibus comme réseau pour le contrôle, et As-i pour le niveau terrain. Cet ensemble de protocoles ont des spécifications ouvertes et les protocoles font partis des standards IEC par rapport au domainde des bus de terrain. L'interopérabilité est assuré grâce au développement des produits selon les normes établies. On obtient des prestations similaires

Dans un autre ordre, l'analyse de l'Ethernet Industriel nous conduit vers le Temps Réel. Aujourd'hui il est difficile d'envisager un solution Ethernet Temps Réel avant d'une vraie implantation de l'Ethernet Industriel «classique» (Ethernet/IP, ProfiNet, Modbus...) dans l'usine.

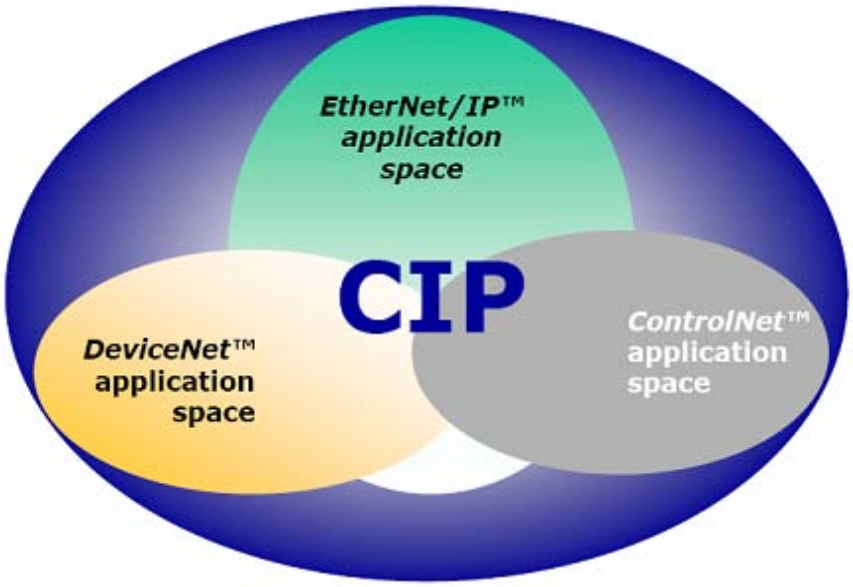


Fig. 4. - Concept CIP pour famille Rockwell

La grande versatilité des caracteristiques des bus de terrain similaires fait les choix compliqué, mais la manque de sens de bus propriétaires dans la situation du marché actuel dirige les décisions industrielles pour les réseaux de terrain assez claires en faveur des bus ouverts selon des standards.

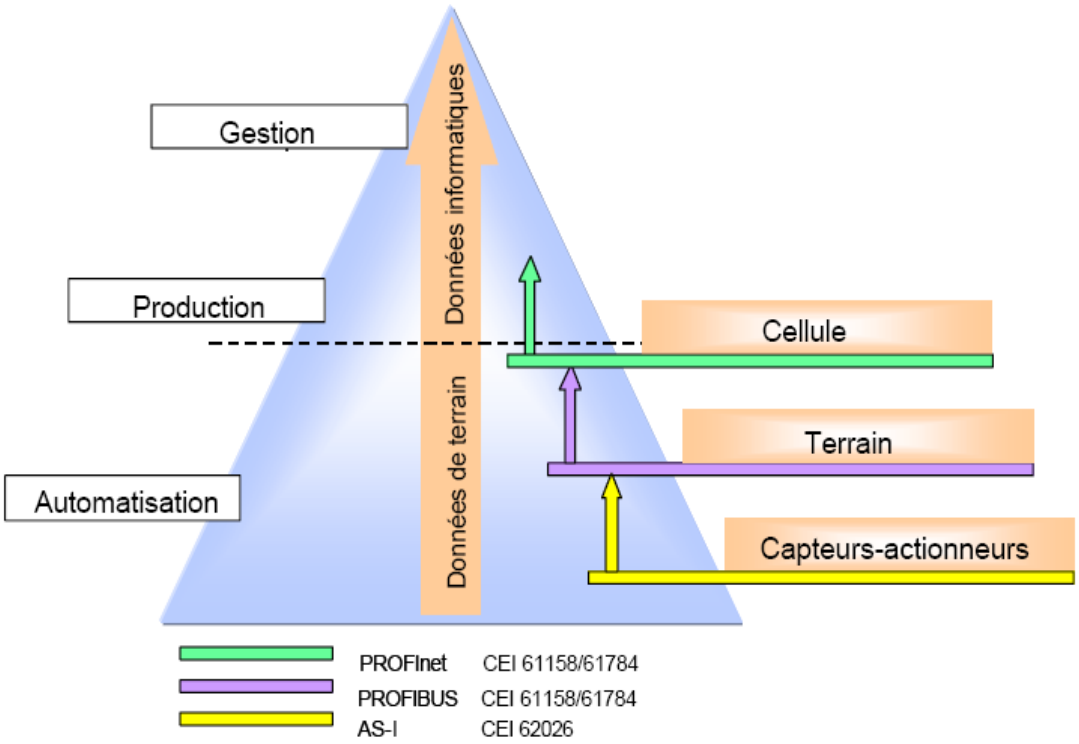


Fig. 4. Famille Siemens

5. Essais

On a réalisé deux types d'essais: d'un côté une partie qui correspond à la vérification de la norme ISO15407-2 et du cahier des charges établi. D'autre côté on a testé la partie réseau de terrain en essayant des configurations dont le but était d'observer le correct fonctionnement électrique des distributeurs et des différents modules de communication par rapport à chaque type de réseau, à la connectique et aux modules E/S.

5.1. Configuration demandée aux fabricants

A partir du cahier des charges qu'on a réalisé après l'inventaire des îlots de distribution existants au marché, on a envoyé ce document aux fabricants pour obtenir des échantillons et pouvoir essayer et vérifier les composants standards qu'il éxiste sur les catalogues des fournisseurs.

D'un côte, la spécification principale exigée par rapport aux distributeurs pneumatiques était la possibilité de rajouter un régulateur de pression en sandwich entre l'embase de plan de pose normalisé et le distributeur. En plus, une deuxième option

nécessaire était le melangeage des deux tailles du standard ISO15407-2 01 et 02 (26 et 18 mm) sur un même îlot sans ajouter des plaques de pression intermediaire qui empéchaient un embase pour utiliser un autre distributeur. Autres aspects moins prioritaires, étant donnée que tout les fabricants ont des solutions qui couvre cette demane, ont été l'existance des distributeurs mono et bistable avec tous les fonctions possibles.

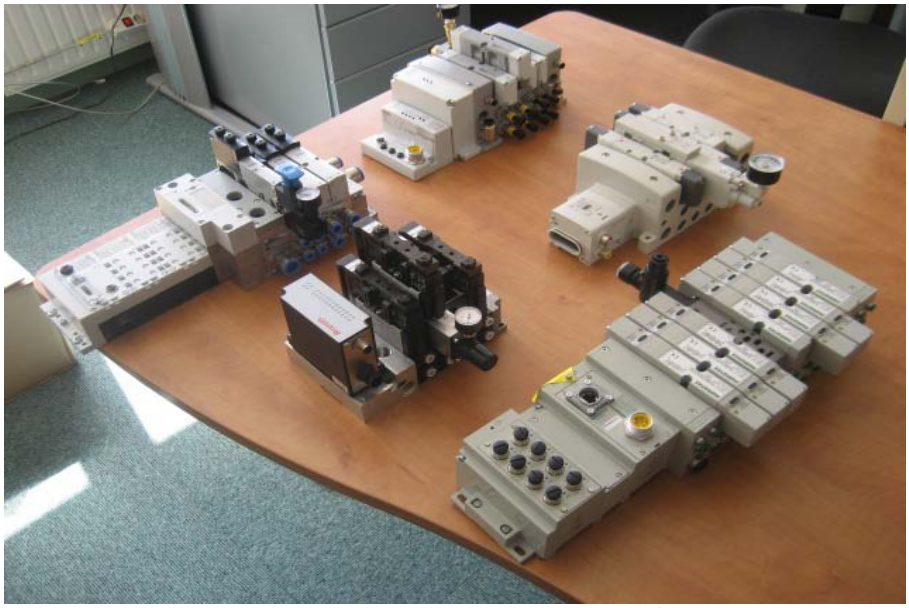


Fig. 5.1 - Ensemble des îlots essayés

D'autre côté, la configuration demandée par rapport aux bus de terrain a cherché vérifier la disponibilité des protocoles et analyser les différents types de connectique que chaque fournisseur développe pour un même module réseau de terrain. Par ailleurs, on a demandé de recevoir un module d'E/S avec l'objectif de voir le correct fonctionnement du module bus de terrain malgré le module E/S soit assemblé sans modifier l'état des entrées ou sorties.

5.2. Plan de pose normalisé ISO15407-2: interchangeabilité

Le but de la standardisation des distributeurs pneumatiques est de pouvoir melanger sans aucun problème les différents solutions des fabricants, c'est à dire, avec un embase de plan de pose normalisé d'un fournisseur on n'a aucun difficulté à ajouter un distributeur d'un autre entreprise ou mettre entre eux un régulateur de pression en sandwich d'un troisième fabricant (voir fig. 5.2). L'interchangeabilité doit être respecté au 100% quand on a dessiné un element pneumatique selon la norme ISO15407-2 parce qu'elle définit un ensemble de spécifications lesquelles doivent être suivies au moment de la conception et développement du produit.

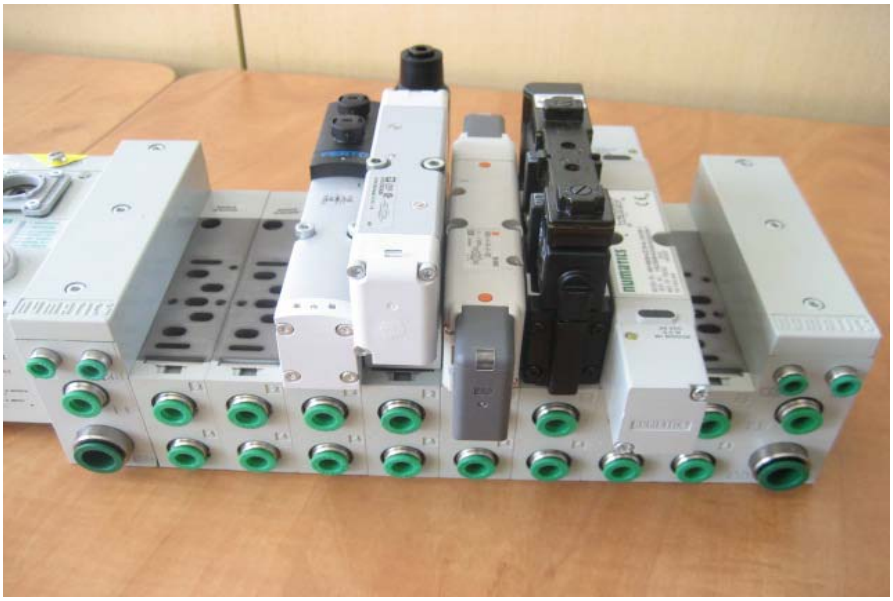


Fig. 5.2 - Ilot Numatics avec distributeurs FESTO, Parker, SMC et BOSCH-Rexroth

Maintenant on va analyser chaque solution de chacun des fabricants après avoir essayé toutes les configurations possibles.

Numatics

La norme ISO est respectée complètement. On peut ajouter n'importe quel distributeur à l'embase et au régulateur de pression. En plus les distributeurs sont dessinés de façon qu'on peut les mettre sur les autres îlots et régulateurs sans aucun problème.

Les commandes manuelles et les LEDs sont situées pour les distributeurs bistables à côte de chaque bobine d'electropilotage.

Par contre, il éxiste un problème pour la connectique M12 du régulateur de pression A différence des autres fabricants les broches sont pas protégés et les mêmes peut être cassés au moment ou on doit démonter le régulateur suite à la fragilité de ce type de matériel (voir fig. 5.3 et 5.4).

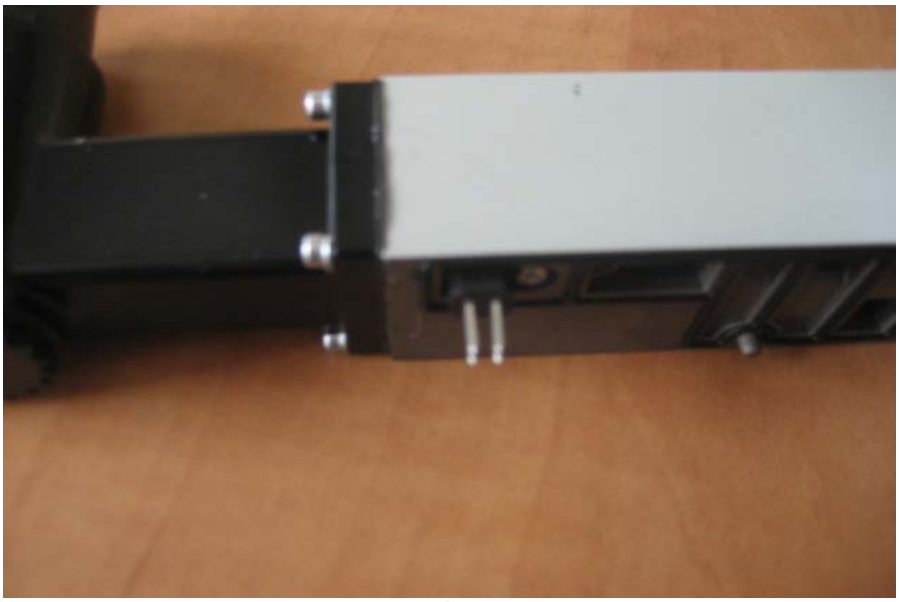


Fig. 5.3 - Connectique M12 du régulateur de pression NUMATICS

Fig. 5.4 - Connectique M12 protégée du régulateur de pression Parker

<u>FESTO</u>

La norme ISO est respectée complètement. On peut ajouter n'importe quel distributeur à l'embase et au régulateur de pression. En plus les distributeurs sont dessinés de façon qu'on peut les mettre sur les autres îlots et régulateurs sans aucun problème.

Les commandes manuelles sont situées au côté du connecteur M12. En plus, il faut remarquer que FESTO est le seul fournisseur qui a un solution pour bloquer les commandes manuelles. Les LEDs sont aussi dans la même partie du distributeur.

Fig. 5.5 - Commandes manuelles et LEDs du distributeur FESTO

<u>BOSCH-Rexroth</u>

La norme ISO est respectée complètement. On peut ajouter n'importe quel distributeur à l'embase et au régulateur de pression. En plus les distributeurs sont dessinés de façon qu'on peut les mettre sur les autres îlots et régulateurs sans aucun problème.

Cependant, la conception du distributeur (voir fig. 5.6) avec le pilotage électrique ajouté à la fonction pneumatique par moyen d'un module au-dessus sans être intégré dans un même ensemble comme les autres fabricants pose un problème: si on veut démonter un distributeur qui est à côté d' un régulateur de pression avec un autre distributeur au-dessus l'accès au vis pour desinstaller le premier distributeur est assez difficile à cause des dimensions de l'ensemble régulateur-distributeur. La solution pour y arriver passera pour démonter d'abord l'ensemble régulateur-distributeur et après le distributeur souhaité avec les problèmes des pertes de temps et fonctionalité conséquents (voir fig. 5.8).

Fig. 5.6 - Distributeur ISO15407-2 BOSCH-Rexroth

Un autre problème est le répérage des commandes manuelles et des LEDS qui peut générer confusion à cause de la couleur noire du module électrique. Il ne reste pas clair à première vue où sont ces elements (voir fig. 5.9).

Fig. 5.7 - Zone problématique entre distributeurs et régulateurs de pression BOSCH-Rexroth

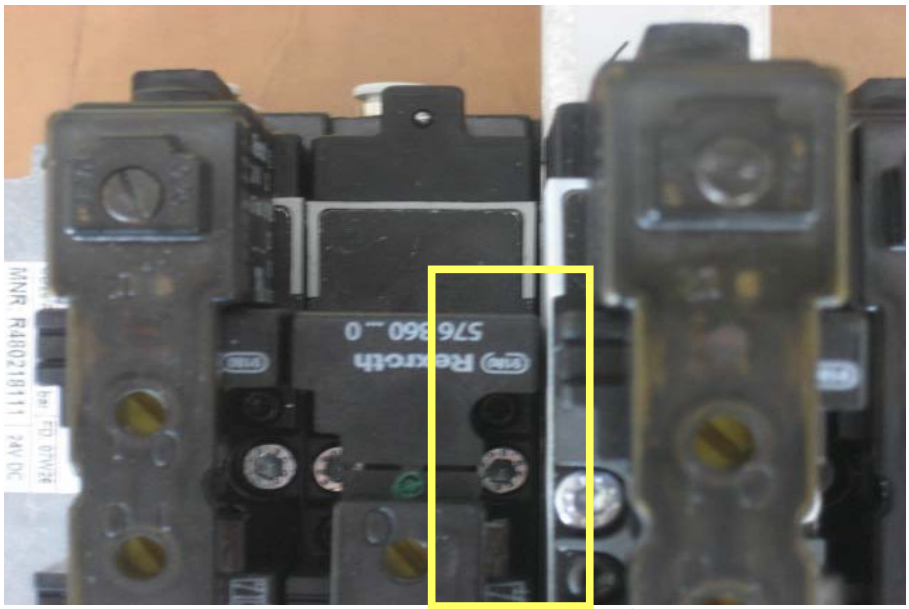


Fig. 5.8 - Vue zenital de la zone problématique

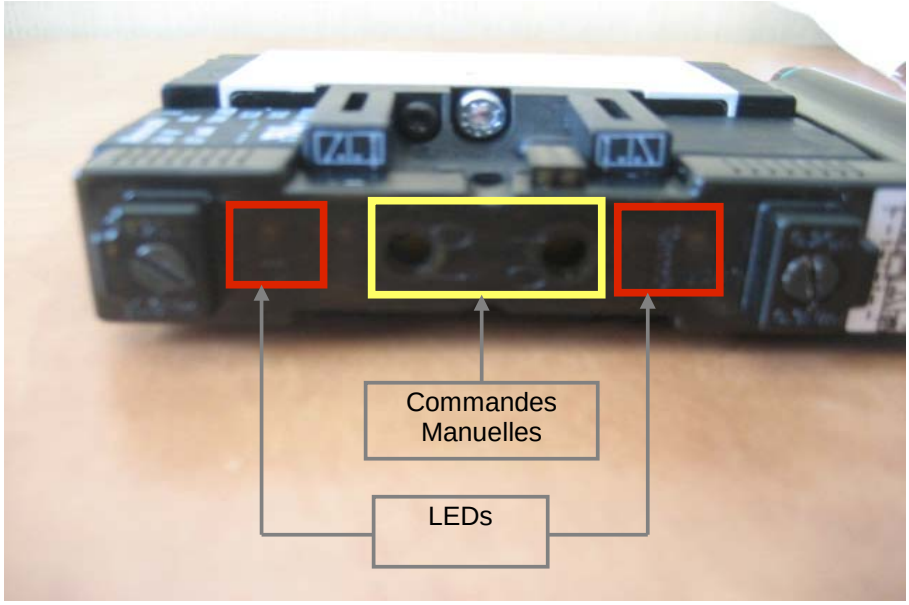


Fig. 5.9 - Commandes manuelles et LEDS du distributeur BOSCH-Rexroth

SMC

La norme ISO est respectée complètement. On peut ajouter n'importe quel distributeur à l'embase et au régulateur de pression. En plus les distributeurs sont dessinés de façon qu'on peut les mettre sur les autres îlots et régulateurs sans aucun problème.

Les régulateurs de pression chez SMC sont attachés à l'embase d'une façon différente que les autres fabricants. La solution proposée pour cette entreprise consiste à unir le régulateur à l'embase avec deux petits vis juste à côté de la base du régulateur et l'embase. Les autres fournisseurs utilisent deux vis attachés directement à l'embase et après on ajoute le régulateur. On peut observer cette situation dans les suivantes figures.

Fig. 5.10 - Vis entre embase et régulateur de pression SMC

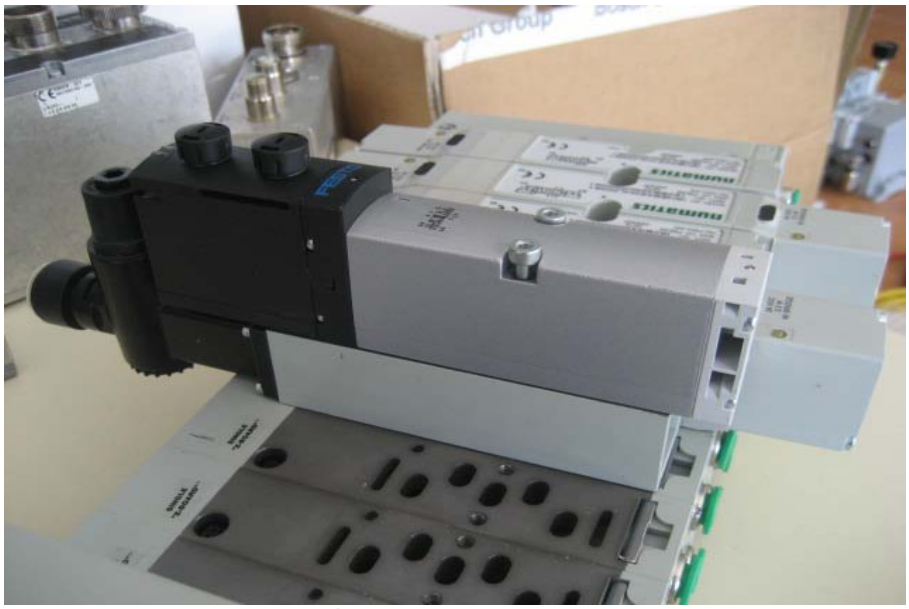


Fig. 5.11 - Régulateur de pression NUMATICS

Fig. 5.12 - Système d'union pour embase et régulateur NUMATICS

Parker

La norme ISO n' est pas respectée complètement. On ne peut ajouter que les distributeurs Parker et BOSCH-Rexroth au régulateur de pression à cause de la situation de l'indicateur de pression du même (voir fig. 5.13 et 5.15). Par contre les distributeurs Parker sont dessinés de façon qu'on peut les mettre sur les autres îlots et régulateurs sans aucun problème.

Les commandes manuelles et les LEDs sont situées pour les distributeurs bistables à côte de chaque bobine d'electropilotage.

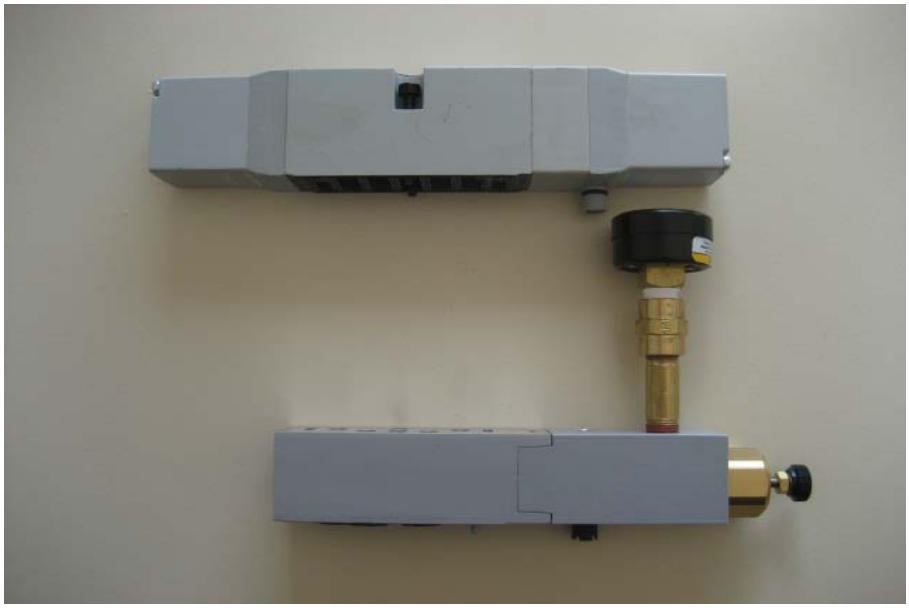
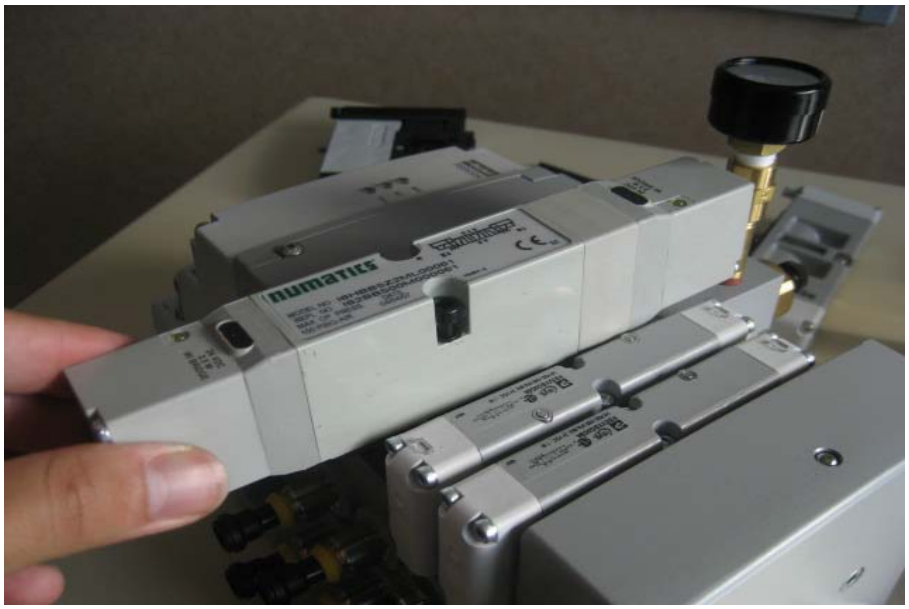
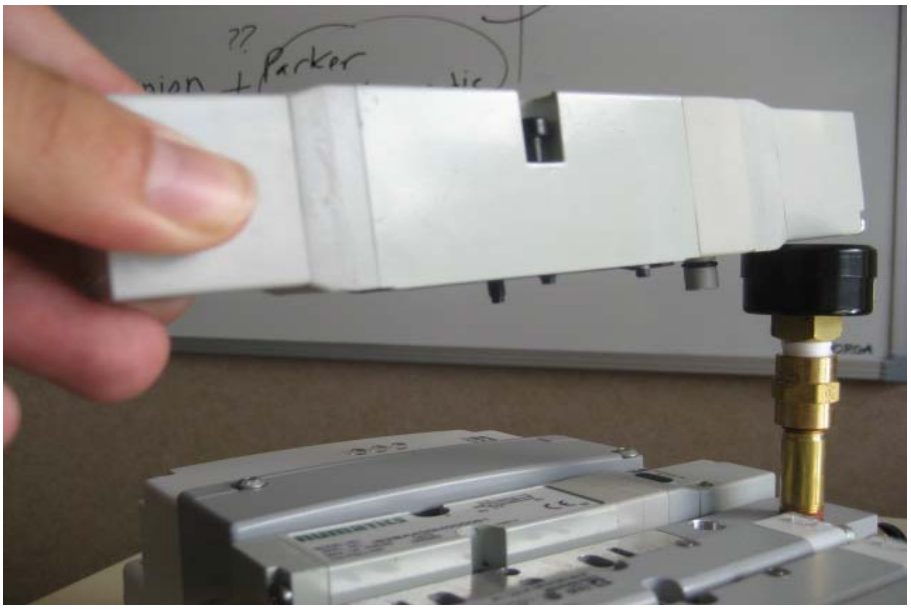
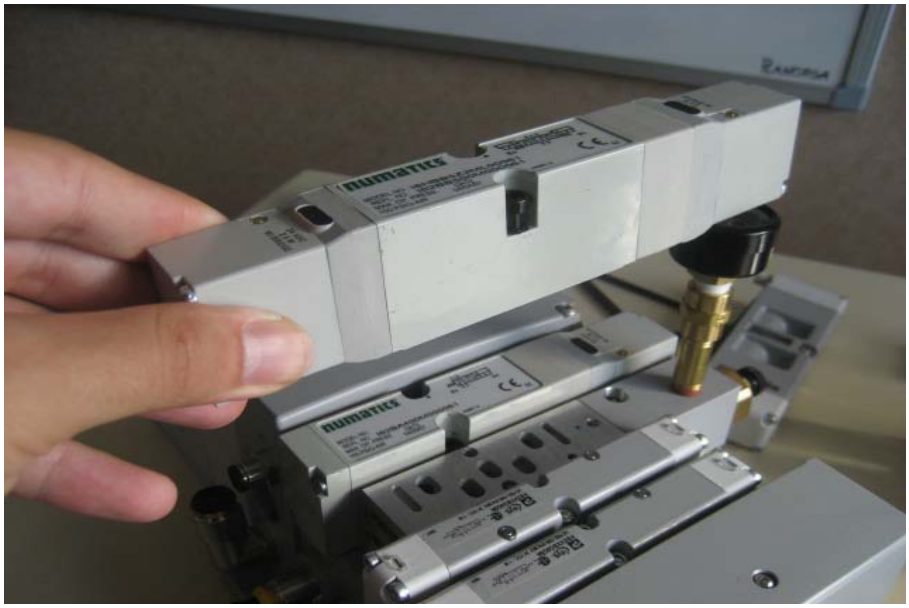


Fig. 5.13 - Distributeur NUMATICS et régulateur de pression Parker







Figs. 5.14 , 5.15 et 5.16 - Incompatibilité des distributeurs avec régulateur de pression Parker

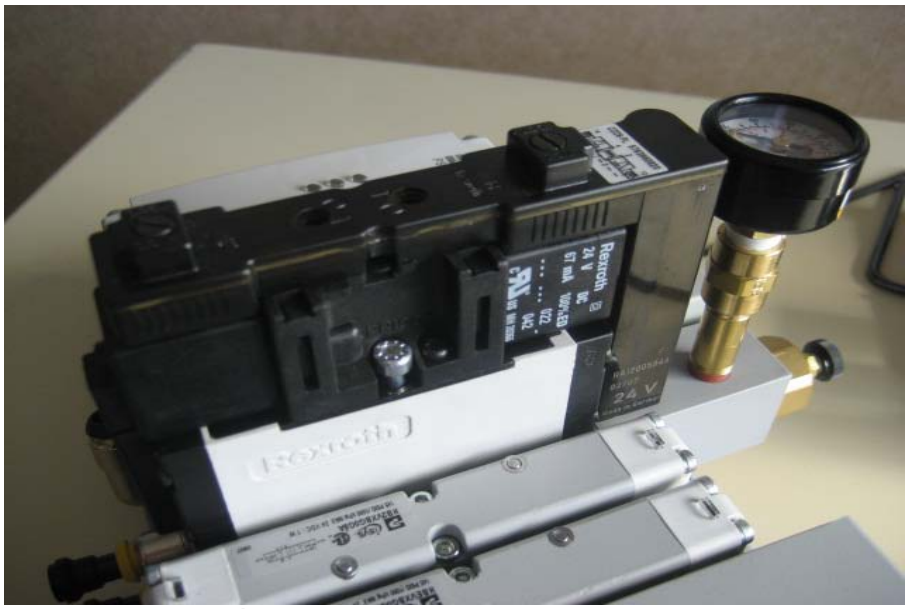


Fig. 5.17 - Compatibilité des distributeurs BOSCH-Rexroth avec regulateurs Parker

Finalement, il faut remarquer deux aspects par rapport aux vis des distributeurs et aux indicateurs de pression. D'un côté, on se rend compte que les tailles des vis des distributeus sont différents les uns des autres. D'autre côté les indicateurs de pressions son trop petits car les îlots sont situés souvent dans des endroits des difficiles accès et on ne peut pas s'approcher pour regarder les mesures de pression. Il faudra donc enlever ces elements des régulateurs de pression et ajouter un vrai manomètre pour l'ensemble de l'installation pneumatique.

5.3. Essais de commnunication

Pour réaliser les essais des modules réseaux de terrain on a pris quelques décisions en rélation avec le matériel disponible au service SC/MA et les échantillons fournies par les fabricants.

Le fort intérêt du service SC/MA pour l'état du marché et le déploiement du protocole Ethernet/IP dans le domaine industriel a été une raison très importante pour tester ces modules réseau de terrain. En plus, quatre de cinq fournisseurs étudiés développent des solutions Ethernet Industriel.

Cependant, l'absence d'un standard défini pour la connectique fait que chaque société propose une solution différente. Après avoir analysé les connecteurs et les installations de SC/MA on a décidé d'utiliser le plus étendu des connecteurs pour Ethernet: le RJ-45. Une fois prise cette décision on a choisi le seul îlot de distribution qui dispose du standard «de facto» dans le monde Ethernet bureautique: l'îlot NUMATICS. C'est vrai que le connecteur RJ-45 n'est pas adapté pour le milieu industriel mais pour la réalisation des nos tests est le choix idéal.

Les tests de communication ont été divisés en trois parties: la connectique des modules, une vérification de l'allumage des LEDs des distributeurs et une communication entre un PC et le serveur interne de l'îlot de distribution NUMATICS.

Fig. 5.18 - Ilot de distribution NUMATICS

5.3.1. Connectique

Les entreprises qui développe des modules Ethernet Industriel avec une implementation du protocole Ethernet/IP sont: Numatics, FESTO, SMC et Parker

Numatics

Comme on a déjà mentionné, Numatics utilise une prise RJ-45 pour la communication Ethernet/IP. Malgré son coût réduit et sa facilité d'installation, le RJ-45 n'est pas une bonne solution dans le milieu industriel à cause des contraints très exigeantes des temperatures, des éfforts et des vibrations. La connexion pour l'alimentation est une prise classique dans le milieu industriel avec 4 broches.

Fig. 5.19 - Connectique du module Ethernet/IP chez Numatics

FESTO

FESTO propose une connectique standard M12 cinq broches. L'alimentation est aussi composé d'une prise de cinq broches. Le module Ethernet/IP de FESTO dispose d'une alimentation supplémentaire.

Fig. *5.20* - Connectique du module Ethernet/IP chez FESTO

SMC

La connectique M12 est choisie aussi par SMC pour la communication bus de terrain Ethernet/IP dans l'extrême du système d'information EX250. L'aspect positif de SMC est le câblage avec deux extrêmes que s'adaptent parfaitement au milieu industriel et aux communications avec la carte Ethernet/IP de n'importe quel automate: SMC propose un câble avec une prise M12 côte îlot et une prise RJ-45 côté automate ou PC (voir fig. 5.23). L'alimentation consiste à une prise de 4 broches.

Fig. 5.21 - Module EX250 isolé

Fig. 5.22 - Module EX250 câblé et assemblé à l'îlot

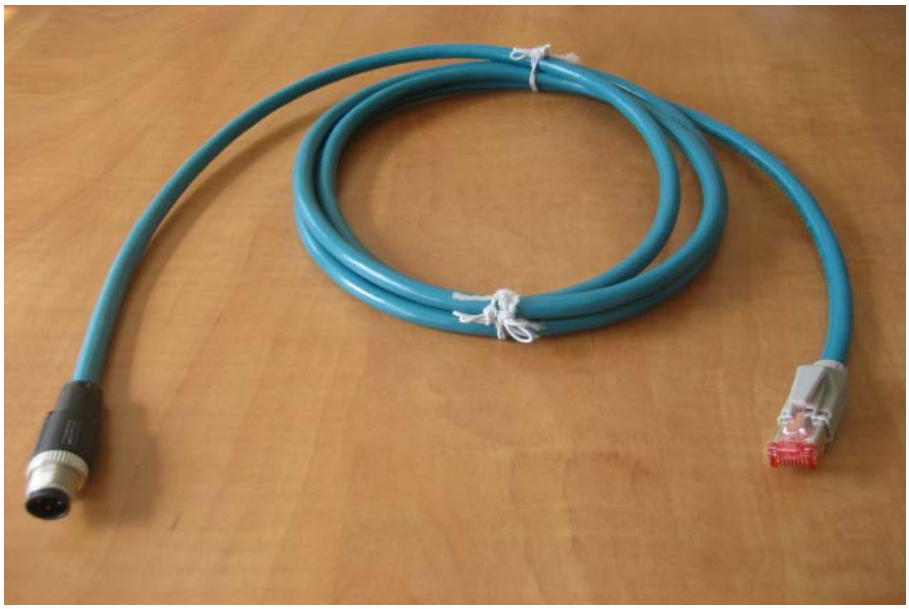


Fig. 5.23 - Câblage SMC pour Ethernet/IP

Parker

Le module Ethernet/IP de Parker utilise une connectique M12 de cinq broches. La connexion pour l'alimentation est une prise classique dans le milieu industriel avec 4 broches.

Fig. 5.24 - Module Ethernet/IP de Parket et détail de la connectique

5.3.2. Mode Test

On a profité un des modules de l'ensemble d'îlot Numatics, dédié au diagnostic, pour vérifier le correct fonctionnement électrique des distributeurs (voir annexe 4). Ce module, appelé MCM (Manual Configuration Mode) implemente par moyen de DIP et Rotary Switches deux modes de test qui ont été très utils pour aboutir l'objectif des essais.

On a testé d'abord une configuration «chenillard» en allumant succesivement les bobines des distributeurs pour tous les fabricants.

Fig. 5.25 - Captures du chenillard des LEDs

Après, on a essayé l'autre mode de fonctionnement proposé pour le MCM, avec lequel on allumé seulement les LEDS correspondant aux bobines impaires. Il faut remarquer que la bobine 0 correspond au distributeur le plus proche du module MCM et la bobine n au distributeur le plus eloigné.

Fig. 5.26 - Allumage des bobines impaires

Comme on observe dans les images tous les distributeurs ont une réponse correcte par rapport à la commande du module MCM.

5.3.3. Communication PC – Serveur îlot de distribution

Un des avantages des bus de terrain est le fait d'introduire les mécanismes de contrôle à l'intérieur des dispositifs qu'on va installer tout au long du réseau. L'utilisation du réseau Ethernet au milieu industriel permet d'intégrer des développements du monde des réseaux locaux pour améliorer les méthodes classiques de l'ingénierie de contrôle.

Un outil qui a dépassé les frontières du bureatique vers l'industriel est le serveur web. Il dévient une IHM de plus en plus (Interface Homme-Machine) utilisée pour le procédé industriel. Avec un navigateur web on peut réaliser une connection via web avec notre dispositif et le contrôler depuis n'importe quel poste de travail habituel. Le serveur suppose, donc, une révolution par rapport au modèle de contrôle et surveillance habituel dans lequel il faut être à côté du dispositif dans l'usine.

Les îlots de distribution intègrent très souvent des serveurs web qui permet de forcer l'état des bobines des distributeurs et aussi l'état des entrées/sorties.

On a essayé une communication depuis un PC portable avec le serveur implementé dans les circuits imprimés de l'îlot (vir fig. 5.27). Pour réaliser ce test on a utilisé un câble RJ-45 standard utilisé pour la connexion des réseaux locaux classiques (bureautiques).

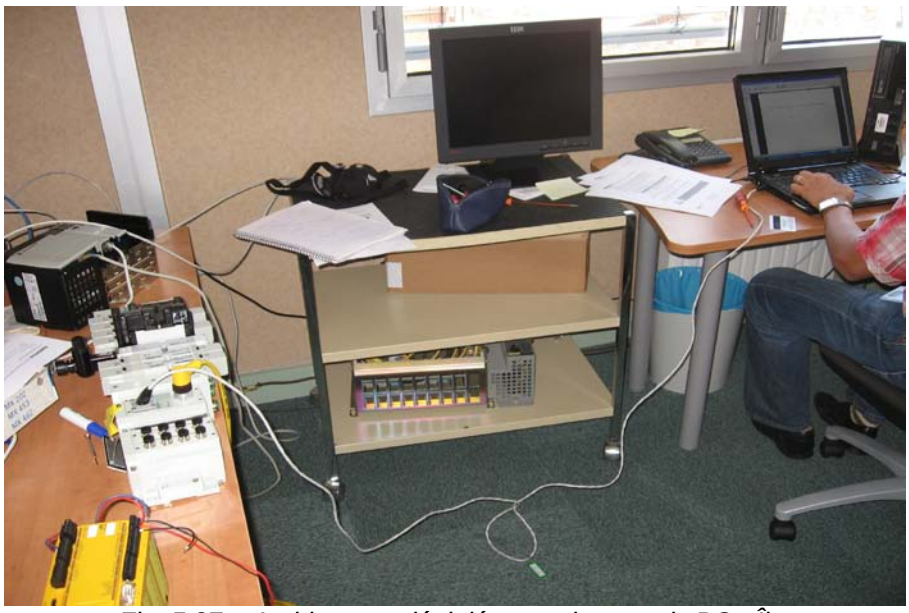


Fig. 5.27 – Architecture déploiée pour les essais PC - Îlot

D'abord on a configuré l'adresse IP du serveur avec les DIP et Rotary Switch (voir fig. 5.28) selon la documentation de NUMATICS (consulter annexe 4): avec les DIP switch on a forcé les deux derniers octets pour obtenir l'adresse 192.168.6.1 et avec les Rotary Switch on a réalisé une configuration pour pas maintenir l'état des bobines (des LEDs) une fois finie la communication avec le PC.

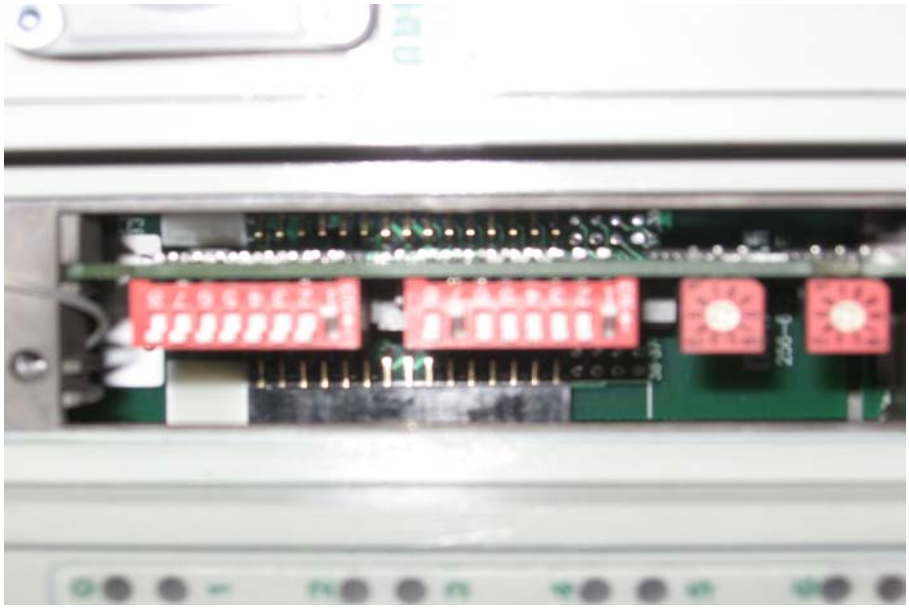


Fig. 5.28 – DIP and Rotary Switches

Ensuite, on a défini dans le PC portable que l'adresse IP 192.168.6.1 réprésentait l'élément avec lequel on allait se communiquer. Après on a lancé le navigateur web et on a introduit 192.168.6.1 dans la barre d'adresse pour démarrer la communication (voir fig. 5.29). Une fois établie, le serveur de l'îlot a montré un site web HTML à partir duquel on a plusieurs options à réaliser.

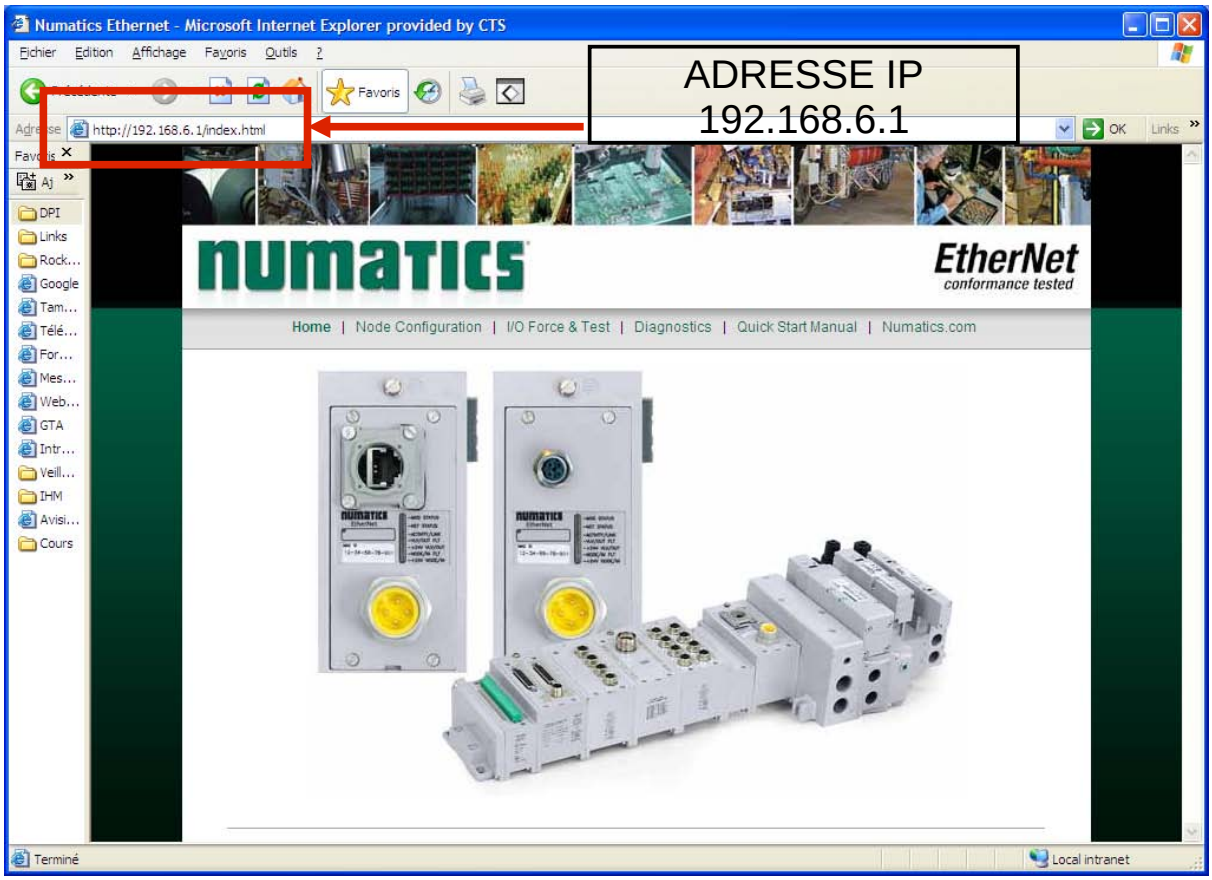


Fig. 5.29 - Site web HTML du serveur

Le site web nous permet réaliser quelques actions sur l'îlot: configurer directement l'adresse IP sans régler les Switch, forcer les E/S pour réaliser un test, vérifier l'état des bits (bobines), télécharger la documentation et finalement visiter le site du fabricant (voir fig. 5.30).

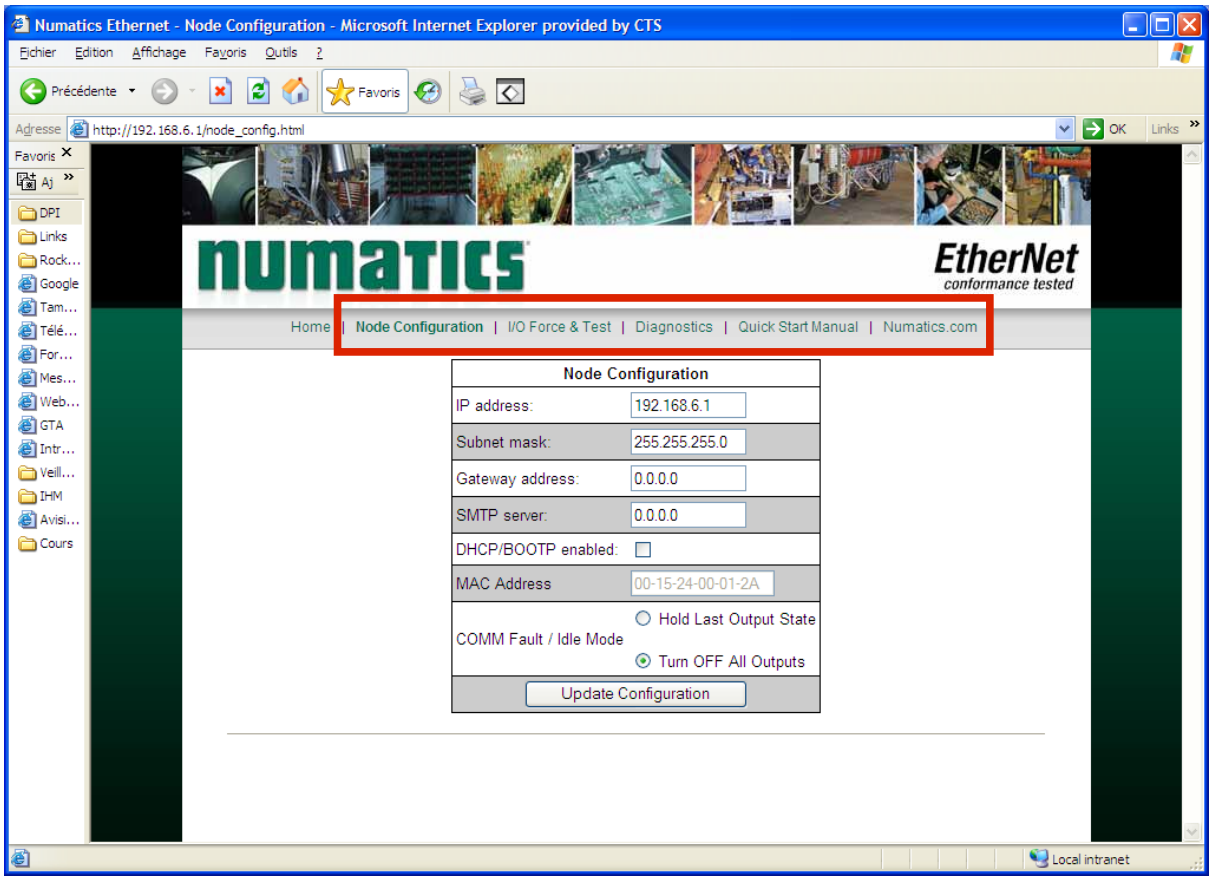
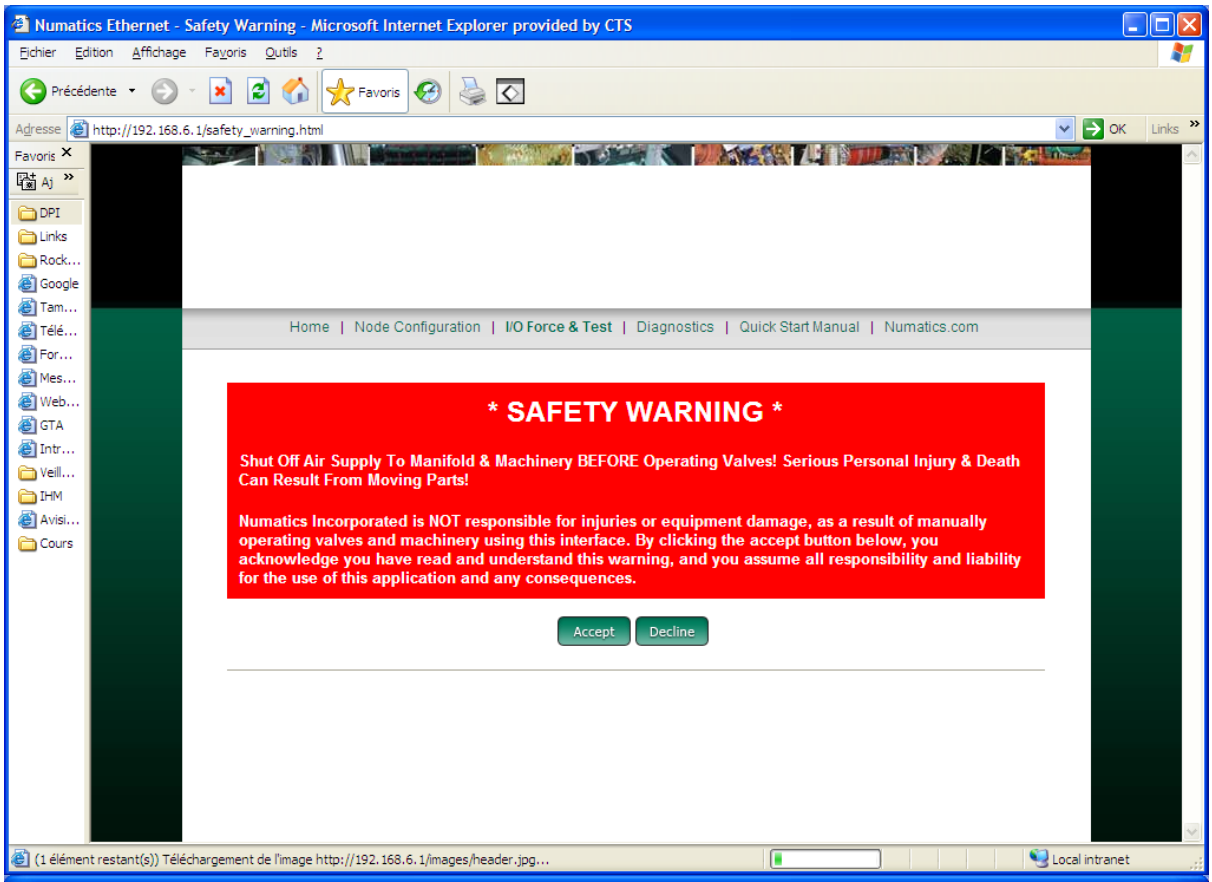
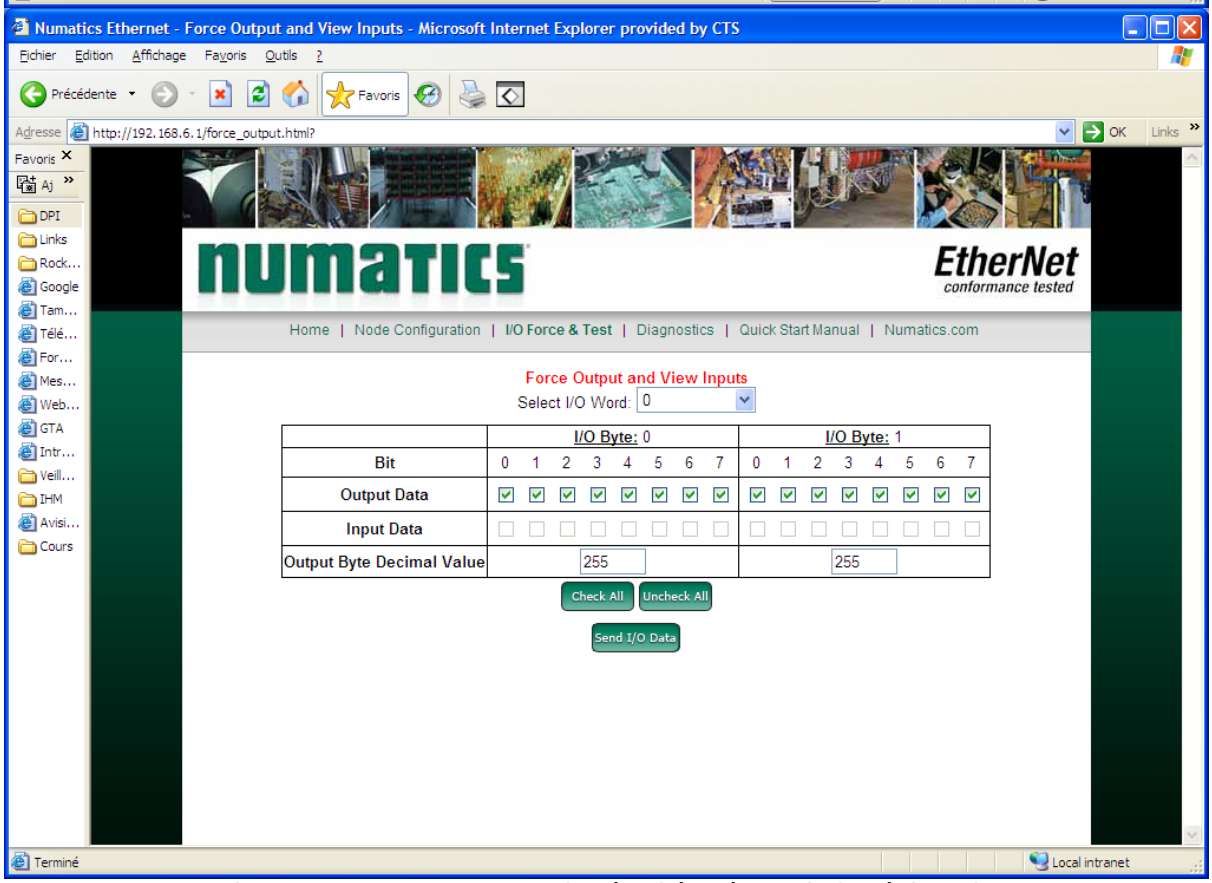


Fig. 5.30 - Options possibles sur l'îlot

L'objectif du test de communication a été réalisé grâce à l'option ou on force les E/S. La commande au site web a consisté à selectionner tous les bobines de l'îlot selon l' IO Mapping (voir annexe) qu'on a trouvé dans la documentation et allumer tous les LEDs pour vérifier le correct fonctionnement électrique par rapport à la commande du serveur. Il faut remarquer la précision des mécanismes des contrôles du serveur car quand on a voulu forcer les E/S un message de sécurités a été affiché pour nous rappeler les mesures de prevention des risques avant confirmer l'action(voir figs. 5.31 et 5.32).





Figs *5.31* et *5.32* - Message de sécurité et écran du forcé des E/S

Fig. 5.33 - Allumage des LEDs

Après la réalisation de cette partie du test, on a profité l'outil diagnostic (voir fig. 5.34) et on a observé que la remonté de l'information de l'îlot vers le serveur et le PC correspondait exactement à ce qu'on observait dans les distributeurs.

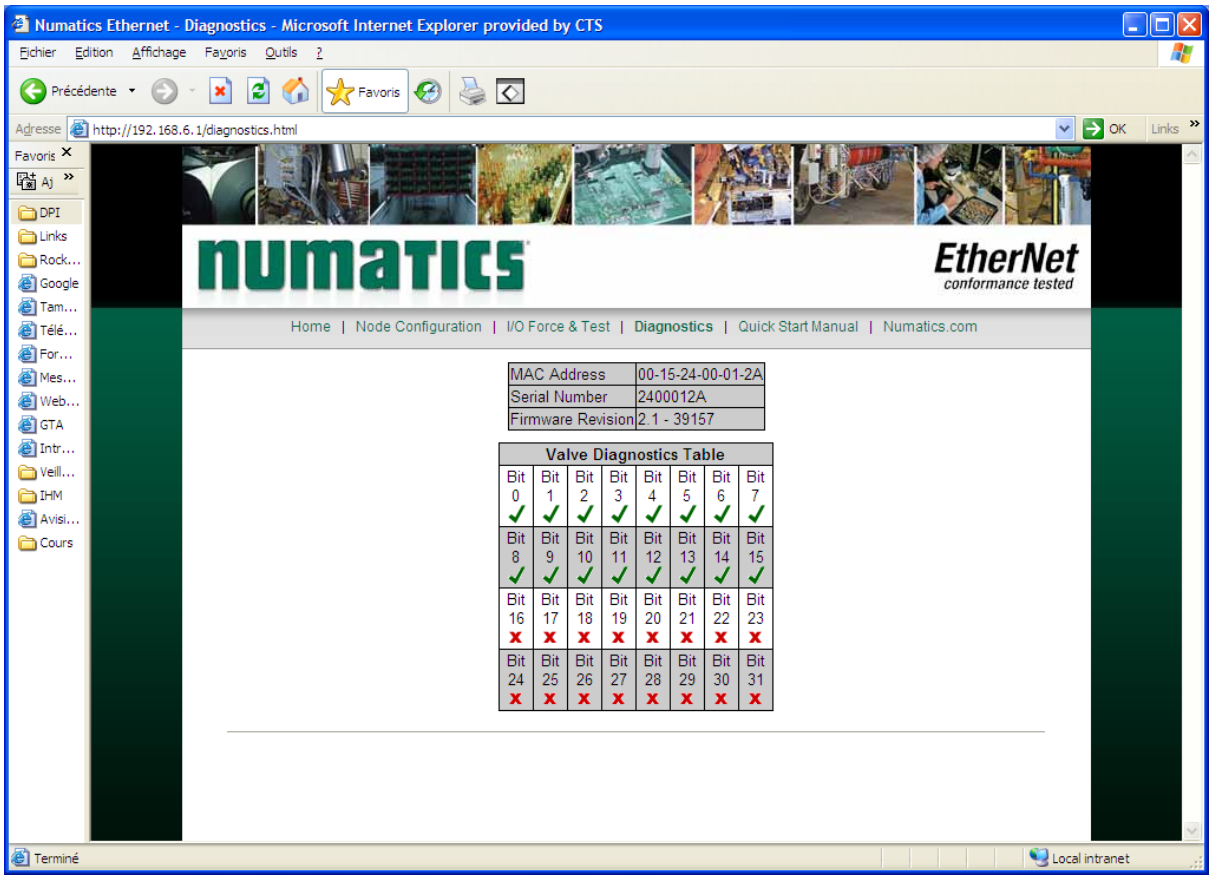


Fig. 5.34 - Outil de diagnostic du serveur

Une fois de plus, les distributeurs ont eu une réponse correcte par rapport au fonctionnement électrique.

6. Conclusions

Après l'analyse qu'on a réalisé dans ce document, on peut extraire un ensemble de conclusions nécessaire pour prendre la décision de standardiser les îlots de distribution pneumatique installés en réseaux de terrain.

6.1. Analyses économiques

A différence d'autres produits industriels, l'evaluation economique concrète d'un îlot de distribution reste tès difficile à réaliser à cause de la grande diversité d'options, modules et systèmes que l'utilisation des bus de terrain implique. Les solutions des fabricants pour un même protocole ont beaucoup des différences et alors, si on ne peut pas faire une compairaison de prix parce qu'on ne compare pas le même produit.

Par contre, on peut décrire en général quels où sont les coûts et les bénéfices d'un investissement sur l'instalation des bus de terrain en pneumatique.

D'abord, la complexité des bus de terrain précise d'une somme importante d'argent pour la formation des opérateurs dans l'usine. Il faut une connaissance de haut niveau pour ces systèmes. En plus, c'est vrai que les coûts d'achat des produits sont élevés. Le monde industriel reste là très souvent, mais on doit changer la manière de penser face à ces elements.

L'investissement bus de terrain suppose l'obtention des bénéfices à long terme. Peut-être l'achat initial des produits n'est pas attractif par rapport à la réduction des coûts, mais il y a d'autres aspects où on trouve réellement les raisons pour lesquelles investir.

L'installation des ces systèmes est beaucoup plus facile et rapide que les anciennes solutions d'automatisation, par example la réduction du câblage revient en une installation plus rapide de connexions. Par conséquent, le temps d'installation et mis en fonctionnement es plus petit. On economise, donc, en temps d'installation qui suppose un coût très sérieux. Plus rapide la machine est prêt, plus rapide on produit et on gagne de l'argent.

Le temps d'arrêt de la production à cause des défaillances du système est très couteux quand une machine tombe en panne, chaque minute compte. Un bénéfice majeur des bus de terrain est la réduction de ce temps. La maintenance est plus simple. Il éxiste des LEDS sur les modules des protocoles qui indique quel est l'état du réseau et disent avec précision ou se trouve le problème. La réduction du câblge permet aussi une identification plus rapide pour la maintenance. En plus, la plupart des solutions ont des outils d'autodiagnostic que peuvent remonter l'information d'une faute avant elle dévient critique. Si on a un problème, le réseaux le communiquera plus rapide. On gagne en temps de production qui est un concept très important dans le domaine industriel.

Finalement, le choix de bus de terrain réprésente lui-même une oportunité pour réaliser des économies. L'utilisation d'un protocole ouvert est, en géneral, moins chère et joue un rôle plus important dans le marché actuel. La naissance des standards comme l'IEC61158 donne la possibilité d'avoir dans quelques années des gammes plus larges des produits standards et, alors, aboutir des réduction des prix grâce à la compétence des fabricants. Le fait d'être engagé avec un bus propriétaire donne au fabricant de la solution le contrôle absolu sur les prix.

6.2. Futur du marché des réseaux de terrain

Le futur des réseaux de terrain est depuis leur création très lié au futur de l'automation industrielle. Le rôle et la présence de plus en plus importants de l'informatique industrielle dans l'usine est un événèment clé dans l'evolution des réseaux de terrain.

Dans les années à venir, l'installation des PC industriels partout fera nécessaire l'utilisation d'adaptations des réseaux locaux traditionnel dans l'industrie. C'est à dire, Ethernet Industriel deviendra le protocole le plus important pour l'échange d'information et pour le niveau de contrôle.

Le développement des solutions Ethernet industriel Temps Réel sont une possibilité à tenir en compte pour l'implantation d'Ethernet dans le niveau terrain. C'est vrai qu'il y a d'autres protocoles qui sont plus proches de ce niveau. Néanmoins, les hautes performances et la versatilité d'Ethernet pour tous les niveaux de la pyramide d'automatisation rendent ce protocole très attractif dans un contexte où le PC sera de plus en plus présent.

Il ne faut pas oublier que la standardisation est un objectif très important pour le monde industriel. Ethernet est déjà un standard IEEE (IEEE802.3) et les implementations concrètes comme ProfiNet, EtherCat ou SerCos sont déjà publiées dans les standards IEC61158 et IEC61784.

Enfin, on croit avoir d'indices suffisants pour annoncer un futur où Ethernet Industriel sera le réseaux de terrain la plus étendue.

6.3. Evolution et restrictions chez Michelin

Le but de cet étude était l'analyse des îlots de distribution et les réseaux de terrain. On n'a pas l'intention de juger la politique d'automatismes Michelin. Mais on doit montrer les dangers de la même et les défis pour le futur.

Dans un contexte de réduction des coûts et standardisation, le fait d'avoir un seul fournisseur comme Rockwell Automation et rester dans des bus propriétaires comme ControlNET est très dangereux.

Le fournisseur a le contrôle absolu des prix, des spécifications, de la maintenance et a un tel pouvoir sur l'entreprise qu'est capable d'imposer un îlot de distribution comme Parker avec lequelle a un partenariat.

Une entreprise de la taille et de l'excellence mondiale de Michelin doit ouvrir ses portes aux solutions ouverts. Le choix de standards internationaux et protocoles avec spécifications ouvertes à tout le monde sont les points clés pour que Michelin soit à l'avance au domaine de l'automatisation et logiquement au domaine industriel.

Il faut un éffort pour changer la direction et ne pas arriver trop tard dans un contexte ou les nouvelles technologies dans l'industrie evoluent à une vitesse très importante.

7. Bilan

Ce stage de 6 mois chez Michelin m'a apporté énormément de choses que ce soit du côté technique ou personnel.

7.1. Bilan technique

La réalisation du stage au sein d'une entreprise est un fait très remarquable pour mon parcours professionnel. Grâce à cette période chez Michelin j'ai eu l'occasion d'acquérir une vision plus proche du monde de l'entreprise. J'ai appris le fonctionnement et l'organisation d'une grande structure et les contraintes, limitations et problèmes de l'industrie.

Cette expérience m'a fait comprendre beaucoup des idées et des concepts dont j'avais une méconnaissance très importante à cause de la distance qui sépare les écoles d'ingénieurs et l'entreprise.

Par rapport au sujet du stage, je peux dire au jour d'aujourd'hui que j'ai acquis une maîtrise très grande du domaine des réseaux de terrain et leur importance dans le monde de l'ingénierie de contrôle industriel. Lors de la réception des échantillons pour le test, la théorie de la documentation est devenu pratique, c'est à dire, j'ai testé et j'ai vérifié le matériel (connectique, module E/S, module réseau, câblage...) dont j'avais une connaissance par moyen des fabricants et des concepteurs/développeurs des éléments d'un réseau de terrain.

En plus, j'ai découvert un domaine, celui de la pneumatique, qui était complètement inconnu pour moi. L'inventaire des îlots des distributions pneumatiques m'a apporté les connaissances techniques d'une technologie très présente dans l'automatisation industrielle.

Malgré la difficulté que j'ai eu au moment de chercher les spécifications de chaque protocole bus de terrain, la recherche de bibliographie pour les guides d'analyse m'a montré la vaste quantité des base des données, documentation et information qui est disponible pour consulter et l'importance des systèmes d'information existants quand on développe n'importe quel projet.

Finalement, je veux remarquer que la rédaction d'un rapport de stage dans une langue différente et le fait de résumer tout mon travail pendant 6 mois a été un moment très difficile. Grâce à la réalisation de ce document technique j'ai développé une capacité de synthèse et d'analyse qui est très important pour un ingénieur.

7.2. Bilan personnel

Pour un futur ingénieur il existe une partie humaine aussi importante que la partie purement technique.

Cette partie personnelle a représenté pour moi une valeur ajoutée à la période de stage. Je me suis rendu compte de l'importance du plan relationnel au sein du monde de l'industrie et de l'entreprise. Le métier d'ingénieur n'est pas seulement le côté technique mais aussi un côté de relations, des contacts, de dynamisme avec le but de faire pousser un groupe des personnes vers un objectif plus haut dans un projet. Cette idée qui semble

évident n'était pas présente dans mon esprit et je pense qu'avec l'expérience chez Michelin j'ai commencé à développer cette compétence petit à petit vers un enrichissement personnel comme professionnel dans le monde de l'entreprise.

En plus, j'ai découvert le domaine du management, de l'organisation et du relationnel avec autres entreprises qui me plaît beaucoup et que j'avais négligé avant le stage. Grâce à je suis prêts à parcourir des nouvelles voies qui me mène vers un métier qui ne soit pas exactement celui d'un ingénieur «technicien» mais celui d'un ingénieur d'affaires.

L'ensemble des ces aspects positifs font de la période de stage chez Michelin un moment qui restera inoubliable pendant toute ma vie.

Bibliographie

- Feng-Li Lian, James R. Moyne et Dawn M. Tilbury, «Performance Evaluation of Control Networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet»
- Héctor Kaschel C. et Ernesto Pinto L., «Analisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales»
- IEEE, «IEEE Std. 802.3™ - 2002 Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications»
- Kevin Bothamley and Jim Rodgerson, «Emerging Ethernet Protocols»
- Richard McLaughlin, «Exploring the Opportunities of Industrial Ethernet Fieldbus»
- Alessio Rubini, «Automazione con Bus di Campo. Prima Parte», Diparimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano, 2004
- Paul G. Otaneza, Jonathan T. Parrott, James R. Moyne, et Dawn M. Tilbury, «Implications of Ethernet as a Control Network», Department of Mechanical Engineering, University of Michigan
- Stefano Panzieri, «Reti e Sistemi per l'Automazione. ControlNet»
- David J. Gee, «Communication network with time coordinated station activty by time slot and periodic interval number», US Patent No 5,537,549, Juillet 1996
- Ron Holl et Dave VanGompel, «DeviceNet, adaptation of IEEE 1588», Rockwell Automation, Septembre 2004
- «Apuntes del curso Redes Industriales», Departamento de Ingenieria de Sistemas y Automatica, Universidad de Oviedo, 2004
- Martin Rostan, «EtherCat, the versatile high speed Ethernet Fieldbus», EtherCAT Technology Group
- Johnny Nordin et Marie Persson, «Industrial Ethernet. Ethernet/IP», *Master thesis in computing engineering*, Departement of Computer Science and Engineering, Mälardalen University, Février 2003
- Siemens, «ProfiNet», Avril 2007
- BOSCH, «CAN specification 2.0»
- Cisco Systems, «Industrial Ethernet:A Control Engineer’s Guide»
- Max Felser, «Profibus et ProfiNet, les leaders mondiaux», Profibus Suisse, Haute Ecole Spécialisée Bernoise

- Winston Fong et Jim Rodgerson, «The viability of Ethernet for Automation & Control», Department of Electrical and Electronic Engineering, Manukau Institute of Technology, Auckland

- Larry Komareck, «Industrial Ethernet Connections», Phoenix Contact Inc.

- Hubert Zimmermann, «OSI Reference Model-The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection», IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-28, No 4, avril 1980

- http://www.ethercat.org

- http://www.profibus.com

- http://ethernet.industrial-networking.com

- http://www.can-cia.org

- http://www.ieee.org

- http://www.fieldbus.org

- http://www.odva.org

Annexes

Annexe 1. Inventaire des îlots de distribution

A S C O – J O U C O M A T I C

Fabricant	***ASCO-JOUCOMATIC***
Série	*MULTIPOL – VDMA/ISO01-ISO02*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités taille 01 (950 l/min) 02 (500 l/min)
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Non
Nombres de postes	4-16 emplacements pour distributeurs
Functions pneumatiques	5/2, 5/3, bistables ou monostable
Fonctionnement au vide	Non
Taille des orifices (Alim, Ech)	*1-3-5*: G3/8 (01) G1/4 (02) *2-4*: G1/4 (01) G1/8 (02)
Commande manuel des pilotes	Commande manuelle auxiliaire à impulsion.
Technique de distribution	Tiroir
Joint de plan de pose	Joint d'étanchéité
Filtration recommandée	30 µm
Pilotage int/ext	Non, seulement externe (option)
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet/CANopen	Non
Module Profibus	Non
Module ASI	Non
Multipol	Oui, connexion M23 avec 19 broches mâles
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	Non
Module E /S	Oui
Nombre d'E/S	32 entrées / 32 sorties (Maximum quatre modules : options 8 sorties, 8 entrées, 16 entrées)
Protection IP	IP65
Visualisation	LED sur chaque bobine d'électrovannes pilotes
ODVA	Oui
Maintenabilité	Oui
Prix	
Observations	**Option configuration 2 pressions :** **Capacité maximale avec Sub –D : 16 distributeurs + 32 entrées.** **Capacité maximale avec M23 : 8 distributeurs.** **Distributeurs normalisés série 538 539**
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***ASCO-JOUCOMATIC***
Série	*MULTIPOL – ISO5599 Taille 1 et 2*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités taille 1 (1400 l/min) ou 2 (2800 l/min)
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, 2 pressions avec plaque d'obturation
Nombres de postes	8 emplacements pour distributeurs
Fonctions pneumatiques	5/2 rappel ressort, pneumatique, 5/3, bistables ou monostable
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1 : G ½ (1) G ¾ (2) 3 – 5 : G ½ (1) G ¾ (2) 2 – 4 : G ¼ (1) G ½ (2)
Commande manuel des pilotes	Commande manuelle auxiliaire à impulsion sur les électrovannes-pilotes et distributeurs avec ou sans testeur manuel
Technique de distribution	Tiroir
Joint de plan de pose	Oui, Joint d'étanchéité
Filtration recommandée	30 µm
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Non
Module Profibus	Non
Module ASI	Non
Multipole	Oui, connexion M23 avec 19 broches mâles
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	Non
Module E /S	Non
Nombre d'E/S	
Protection IP	IP65
Visualisation	LED sur chaque bobine d'électrovannes pilotes
ODVA	Oui
Maintenabilité	Oui
Prix	
Observations	**Distributeurs normalisés 541 et 542**
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***ASCO-JOUCOMATIC***
Série	*BUSLINK - VDMA 24563 - ISO 15407/1 tailles 01 et 02*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités taille 01 (950 l/min) ou 02 (500 l/min)
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, jusqu'à 2 pressions (option)
Nombres de postes	16 distributeurs
Fonctions pneumatiques	5/2 ou 5/3, monostables ou bistables
Fonctionnement au vide	Non
Taille des orifices (Alim, Ech)	*1-3-5*: G3/8 (01) G1/4 (02) *2-4*: G1/4 (01) G1/8 (02)
Commande manuel des pilotes	Commande manuel à impulsion
Technique de distribution	*Tiroir*
Joint de plan de pose	Joint d'étanchéité
Filtration recommandée	30 µm
Pilotage int/ext	Oui, alimentation externe (option)
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Oui, connexion embase M28 à 4 broches mâles
Module Profibus	Oui, connexion embase M12 à 5 broches mâles
Module ASI	Oui
Multipole	Non
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	Non
Module E /S	32 entrées / 32 sorties (Maximum quatre modules : options 8 sorties, 8 entrées, 16 entrées)
Nombre d'E/S	32 E / 32 S
Protection IP	IP65
Visualisation	LED de la mise sous tension de chaque bobine et pour chaque entrée/sortie
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	**(option) = consulter la marque** **Distributeurs normalisés Série 538 et 539**
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***ASCO-JOUCOMATIC***
Série	*BUSLINK – ISO 5599 Taille 1 et 2*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités taille 1 (1400 l/min) ou 2 (2800 l/min)
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, plaque-selecteur
Nombres de postes	8 emplacements pour distributeur.
Fonctions pneumatiques	5/2 - 5/3 monostables ou bistables
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1 – 3 – 5: G1/2 (1) G3/4 (2) 2 – 4: G1/4 (1) G1/2 (2)
Commande manuel des pilotes	Commande manuel à impulsion
Technique de distribution	Tiroir
Joint de plan de pose	Oui,
Filtration recommandée	30 µm
Pilotage int/ext	Oui, alimentation externe (option)
Module ControlNet	Non,
Module DeviceNet	Oui,
Module Profibus	Oui, par connecteur M12 à 5 broches mâles
Module ASI	Oui,
Multipole	Non,
Modularité électrique	Oui,
Ilot décentralisé	Non
Module E /S	Oui, Maximum quatre modules : options 8 sorties, 8 entrées, 16 entrées
Nombre d'E/S	32 E / 32 sorties
Protection IP	IP65
Visualisation	LED de la mise sous tension de chaque bobine et pour chaque entrée/sortie
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	
Avis +	
Avis -	

N U M A T I C S

Fabricant	***NUMATICS***
Série	*Séries CL18/26*

**Utilisation modules Electronique bus de terrain et E/S G2-1 et G2-2*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités CL18 400 Nl/min ou CL26 800 Nl/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Non
Nombres de postes	
Fonctions pneumatiques	5/3, 5/2 mono ou bistable rappel ressort ou electro-piloté
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	G1/8 (Manifold CL18) G1/4 (Manifold CL26)
Commande manuel des pilotes	Oui, non spécifiés (verrouillables/non verrouillables)
Technique de distribution	Tiroir inox
Joint de plan de pose	non
Filtration recommandée	>= 40µm
Pilotage int/ext	interne
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Non
Module Profibus	Non
Module ASI	Non
Multipole	Non
Modularité électrique	
Ilot décentralisé	Non
Module E /S	
Nombre d'E/S	16 E/S
Protection IP	IP65
Visualisation	LED
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	**Connexion M12. Embases juxtaposables. Pas d'îlots bus terrain**
Avis +	
Avis -	Utilisation d'adaptation plan pose pour certaines séries îlots distributeurs

Fabricant	***NUMATICS***
Série	*Séries 2000 - ISO15407-2*

**Utilisation modules Electronique bus de terrain et E/S G2-1 et G2-2*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, 2 possibilités: taille 01 1180 Nl/min , taille 02 550 Nl/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, avec régulation de pression
Nombres de postes	32 bobines
Fonctions pneumatiques	5/3 bistable, 5/2 mono ou bistable rappel ressort ou pneumatique
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1/8
Commande manuelle des pilotes	Oui, verrouillable étendue
Technique de distribution	Tiroir chemise en acier inoxydable
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Oui
Module DeviceNet	Oui, connexion 12 mm 5 broches mâle
Module Profibus	Oui, connexion 12 mm 5 broches femelle
Module ASI	Oui, connexion IDC
Multipole	Non
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	Oui, mode distribué, on profite 1 tête pour 4 îlots
Module E /S	Oui,
Nombre d'E/S	96E / 192 S
Protection IP	IP65
Visualisation	LED
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	**Utilisation module bus terrain G2-2 Numatics**
Avis +	
Avis -	

F E S T O

Fabricant	***FESTO***
Série	***44 VTSA***

Critères	
Association de plusieurs tailles	2 tailles associables 700 l/min et 1400 l/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, avec plaque d'alimentation
Nombres de postes	32 emplacements pour distributeur / 32 bobines
Fonctions pneumatiques	5/3, 5/2 bistable, mono ressort, pneu, 2x3/2 NF/NO et NO-NF
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1-3-5: Filetage de raccordement G1/4-1/8-1/2-3/8 extérieur de tuyau 6-12 mm 2-4 : G1/8, QS-G1/8-8, QS-G1/8-6 G1/4, QS-G1/4-10, QS-G1/4-8
Commande manuel des pilotes	Oui, commande manuelle auxiliaire à impulsion ou à accrochage type pousser - tourner
Technique de distribution	Piston tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	40 µm
Pilotage int/ext	Oui, sélection par plaque d'alimentation ou plaque extrémité droite
Module ControlNet	? on attend une réponse de Festo ?
Module DeviceNet	Oui, 2xM12 IP65/67 (terminal CPX)
Module Profibus	Oui, sub D 9 pôles (terminal CPX)
Module AS-I	Oui, connecteur M12 5 pôles, IP20-65/67
Multipôle	Oui
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	?
Module E /S	9 modules E/S + interface électrique + nœud bus terrain
Nombre d'E/S	64 E/ 64 S
Protection IP	IP65
Visualisation	Oui, LED jaune et orange
ODVA	Oui
Maintenabilité	Oui
Prix	
Observations	On attend réponse en relation avec protection IP67-20 et bus de terrain ControlNet
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***FESTO***
Série	***04 VTSA***

Critères	
Association de plusieurs tailles	2 tailles associables ISO01 1000 l/min, ISO02 500 l/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, avec plaque d'adaptation
Nombres de postes	16 distributeurs/ 26 bobines
Fonctions pneumatiques	2x3/2 NO/NF et NO-NF, 5/2 mono pneu et ressort, bistable, bistable dominant, 5/3
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1-3-5: G1/4 G1/8 (embase) 2-4 : G1/4 G1/8 (embase)
Commande manuel des pilotes	Oui, commande manuelle auxiliaire à impulsion, rappel automatique/verrouillable
Technique de distribution	Tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	? on attend une réponse de Festo ?
Module DeviceNet	Non
Module Profibus	Non
Module ASI	Non
Multipôle	Oui
Modularité électrique	Oui, connexion M12 centralisé
Ilot décentralisé	?
Module E /S	
Nombre d'E/S	
Protection IP	IP65
Visualisation	Oui, LED
ODVA	Oui
Maintenabilité	?
Prix	
Observations	
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***FESTO***
Série	***14 VTSA***

Critères	
Association de plusieurs tailles	2 tailles associables 700 l/min et 1400 l/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, avec plaque d'alimentation
Nombres de postes	16 emplacements pour distributeur / 32 bobines
Fonctions pneumatiques	
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	1-3-5: Filetage de raccordement G1/4-1/8-1/2-3/8 extérieur de tuyau 6-12 mm 2-4 : G1/8, QS-G1/8-8, QS-G1/8-6 G1/4, QS-G1/4-10, QS-G1/4-8
Commande manuel des pilotes	Oui, commande manuelle auxiliaire à impulsion ou à accrochage type pousser - tourner
Technique de distribution	Piston tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	40 µm
Pilotage int/ext	Oui, sélection par plaque d'alimentation ou plaque extrémité droite
Module ControlNet	? on attend une réponse de Festo ?
Module DeviceNet	Oui, 2xM12 IP65/67 (terminal CPX)
Module Profibus	Oui, sub-D 9 pôles (terminal CPX)
Module ASI	Oui, connecteur M12 5 pôles, IP20-65/67
Multipôle	Oui
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	?
Module E /S	9 E/S + interface électrique + nœud bus terrain
Nombre d'E/S	64 E/ 64 S
Protection IP	IP65
Visualisation	Oui, LED jaune et orange
ODVA	Oui
Maintenabilité	Oui
Prix	
Observations	On attend réponse en relation avec protection IP67-20 et bus de terrain ControlNet
Avis +	
Avis -	

N O R G R E N

Fabricant	***NORGREN***
Série	***VS18*** *(taille 02: 18 mm)*

Critères	
Association de plusieurs tailles	1 taille 550 - 650 l/min, ça dépend de fonctions
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, plaque d'obturation et plaque intermediaries (alimentation)
Nombres de postes	32 avec multipôle sub-D 44 / 32 bobines
Fonctions pneumatiques	2x3/2 NO/NF et NO-NF, 5/2 et 5/3
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech.)	1-3-5 : G1/8 connexion M12 2-4 : G1/8 connexion M12 12-14 : G1/8 connexion M12
Commande manuel des pilotes	Oui, à impulsion et pousser tourner
Technique de distribution	tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	40 µm
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Oui, M12 5 broches
Module Profibus	Oui, Sub-D 9 broche, 2xM12 5 broches
Module ASI	Oui, structure 1 ou 2 esclaves, M12 5 broches
Multipole	Oui, Sub-D 9/15/25/44 broches
Modularité électrique	Oui
Ilot décentralisé	?
Module E /S	?
Nombre d'E/S	
Protection IP	IP65
Visualisation	LED verte
ODVA	Oui
Maintenabilité	?
Prix	
Observations	Module E/S existe sur http://www.machpro.fr mais pas sur norgren.com/fr. Impossible de localiser nombre E/S
Avis +	
Avis -	

Fabricant	***NORGREN***
Série	***VS26*** *(taille 01: 26 mm)*

Critères	
Association de plusieurs tailles	1 taille 550 - 650 l/min, ça dépend de fonctions
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, plaque d'obturation et plaque intermediaries (alimentation)
Nombres de postes	32 avec multipôle sub-D 44 / 32 bobines
Fonctions pneumatiques	2x3/2 NO/NF et NO-NF, 5/2 et 5/3
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech.)	1-3-5 : G1/4 connexion M12 2-4 : G1/4 connexion M12 12-14 : G1/8 connexion M12
Commande manuel des pilotes	Oui, à impulsion et pousser tourner
Technique de distribution	tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	40 µm
Pilotage int/ext	Oui
Module DeviceNet	Non
Module Profibus	Oui, M12 5 broches
Module ASI	Oui, Sub-D 9 broche, 2xM12 5 broches
Multipôle	Oui, structure 1 ou 2 esclaves, M12 5 broches
Modularité électrique	Oui, Sub-D 9/15/25/44 broches
Ilot décentralisé	Oui
Module E /S	?
Nombre d'E/S	
Protection IP	IP65
Visualisation	LED verte
ODVA	Oui
Maintenabilité	?
Prix	
Observations	Module E/S existe sur machpro.fr… mais pas sur norgren.com/fr. Impossible de localiser nombre E/S
Avis +	
Avis -	

P A R K E R

Fabricant	***PARKER***
Série	*ISYS Series*

Critères	
Association de plusieurs tailles	2 tailles associables, 500 – 6000 Nl/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	Oui, plaque de regulation
Nombres de postes	
Fonctions pneumatiques	5/3
Fonctionnement au vide	oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	G standard (G1/8, G1/4… pas indiqué)
Commande manuel des pilotes	Non
Technique de distribution	tiroir
Joint de plan de pose	Oui
Filtration recommandée	
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Oui
Module DeviceNet	Oui
Module Profibus	Oui
Module ASI	Oui
Multipole	
Modularité électrique	Oui, Connexion M23 12 broches
Ilot décentralisé	Oui
Module E /S	Oui, jusqu'à 63
Nombre d'E/S	264E / 264S
Protection IP	IP65
Visualisation	LED
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	Mauvaise information dans la doc sur parker.com
Avis +	
Avis -	

S M C

Fabricant	***SMC***
Série	*Séries VSR8-4/VSS8-4 – ISO15407-2 (taille 01)*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, seulement taille 01 1000 L/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	
Nombres de postes	
Fonctions pneumatiques	5/3, 5/2 bistable, mono ressort, pneu, 2x3/2 NF/NO et NO-NF
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	
Commande manuel des pilotes	Oui, à impulsion, verrouillé, verrouillable encastré
Technique de distribution	Tiroir inox
Joint de plan de pose	Joint élastique
Filtration recommandée	
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Oui
Module Profibus	Oui
Module ASI	Oui
Multipôle	
Modularité électrique	
Ilot décentralisé	Oui
Module E /S	Oui
Nombre d'E/S	32E / 32S
Protection IP	IP65
Visualisation	Oui, LED jaune
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	**On n'arrive pas à trouver cette série dans le catalogue Internet** **ControlNet sous développement**
Avis +	**EtherCat avec module SI EX250**
Avis -	**Il n'existe pas la taille ISO02**

BOSCH-Rexroth

Fabricant	***BOSCH-Rexroth***
Série	*Série CD26-PL*

Critères	
Association de plusieurs tailles	Non, taille 01 1000 L/min
Modularité pneumatique	Oui
Sectionnement de pression	
Nombres de postes	12 distributeurs
Fonctions pneumatiques	5/3, 5/2 bistable, mono ressort, pneu, 2x3/2 NF/NO et NO-NF
Fonctionnement au vide	Oui
Taille des orifices (Alim, Ech)	G1/8, G1/4,
Commande manuel des pilotes	Oui, à impulsion, verrouillé, verrouillable encastré
Technique de distribution	Tiroir inox
Joint de plan de pose	Joint élastique
Filtration recommandée	
Pilotage int/ext	Oui
Module ControlNet	Non
Module DeviceNet	Oui
Module Profibus	Non
Module ASI	Non
Multipôle	Oui, Sub-D 25
Modularité électrique	
Ilot décentralisé	Oui
Module E /S	Oui
Nombre d'E/S	64E/64S
Protection IP	IP65
Visualisation	Oui, LED
ODVA	Oui
Maintenabilité	
Prix	
Observations	**Pour avoir une gamme plus large des protocoles il faut prendre la solution DDL propriétaire BOSCH.** **Les options bus de terrain sont les correspondantes à BDC (Bus Direct Control) qui est la structure utilisé chez Michelin pour les automatismes et pour les réseaux de terrain**
Avis +	
Avis -	**Pas d'îlots normalisés, seulement distributeurs normalisé sur embase**

Annexe 2. Cahier des charges

CARACTERISTIQUES DU DISTRIBUTEUR

- **Fonction du distributeur** :

  - 5/2, 5/3, 2 x 3/2
  - NO, NF, NO-NF
  - monostable, bistable
  - rappel pneumatique, rappel par ressort

- **Joint de plan de pose** imperdable
- **Vis imperdables**

- **Technique de distribution :** Tiroir

- **STANDARDISATION** :

  - Normes ***ISO 5599/2***, ISO 5599/1
  - Normes ***ISO 15407-2***, ISO 15407-1
  - Norme VDMA 24563

- **Tension d'alimentation** : 24V

- **Pilotage externe**

- **Filtration recommandé** : 40 µm (30 µm ???)

- **Visualisation** : LED (établir la signification de chaque couleur par rapport à l'indication de l'état)

- **Type de raccordement alimentation** :

  Norme ISO 15407-2

  - Taille 02 (18 mm) G 1/4
  - Taille 01 (26 mm) G 1/8

  Norme ISO 5599/2

◆ Taille 1-2-3 1 – 3 – 5: G1/2 (1) G3/4 (2)
2 – 4: G1/4 (1) G1/2 (2)

- **Débit** : 1700 Nl/min

- **(Consommation** 1.2 W **)**

- **Degré / Indice de protection** : IP65 (…dehors coffret, IP20 dans le coffret)

- **Commande manuelle** : à impulsion, verrouillable ou sans commande

- **Pression d'utilisation** : vide ou pression maxi 10 bar

CARACTERISTIQUES DE COMMUNICATION

- **Protocole (bus terrain)** : Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet, (Profibus ?)

- **Connecteur**

  - M8, M12, M23
  - Modularité électrique : Sub-D 9/15/19/25/44 broches

- **Boîtier e/s**

  - 32 E/S minimum
  - E/S décentralisées

ELEMENTS DU SYSTEME PORTE-DISTRIBUTEUR

- Plaques latérales ou d'extrémité pour embase

- **Embase juxtaposable**

- **Limiteur de débit**

- **Régulation de pression** : Régulateur entre embase et distributeur sur orifices 1 ou 3 ou 5 selon le schéma.

- **Alimentation vide.**

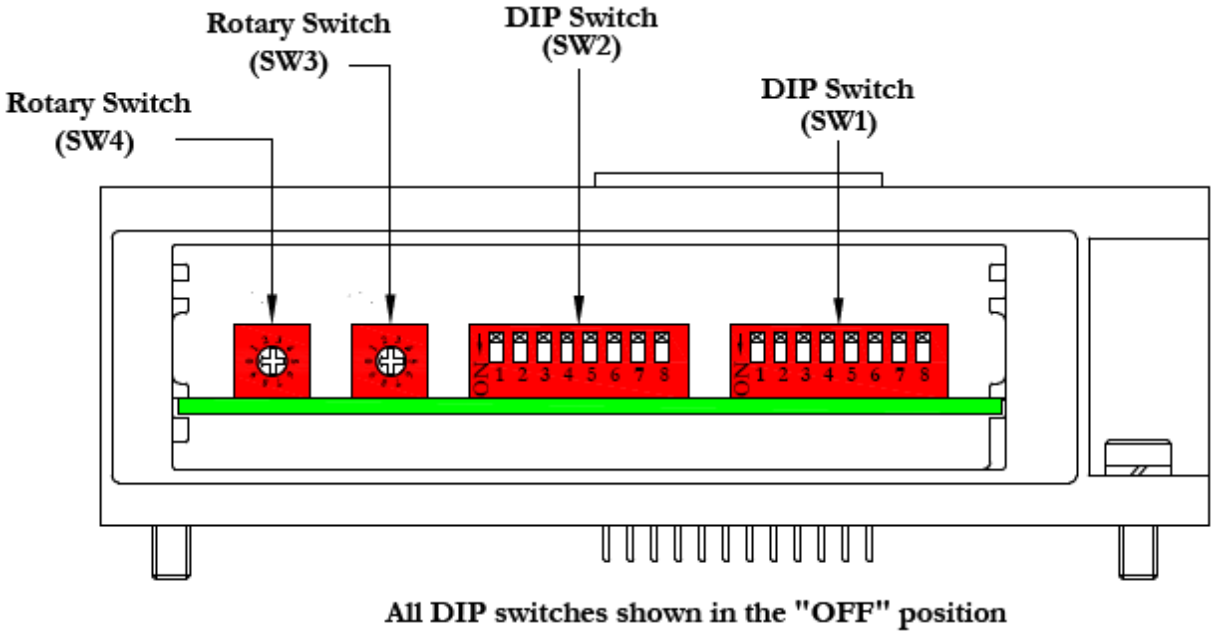
Annexe 3. Fabricants Pneumatiques et Protocoles

Protocole **Fabricant**	**Modèle**	DeviceNet	ControlNet	Ethernet/ IP	Ethernet Temps Réel			ProfiNet	Profibus	AS-i
					Sercos	Ether Cat	Powerlink			
Bosch-Rexroth	CPDL-26	Oui	Oui	Oui*	Oui	Non disponible	Non disponible	Non disponible	DP**	Oui
Numatics (Asco-joucomatic)	Séries 2005-2012	Oui	Oui	Oui	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Oui	DP	Oui
SMC	VSR8-4 VSS8-4	Oui	Oui	Oui	Non disponible	Oui	Non disponible	Oui	Oui	Oui
Parker	Isys Series	Oui	Oui	Oui	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Oui	Non disponible
Festo	VTSA-44	Oui	Non disponible	Oui	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Oui	Non disponible

* Avec système propriétaire DDL (Drive and Diagnostic Link) de Bosch
** Connecteur M12 ou 7/8''

Annexe 4. Numatics G2-2 Series EtherNet/IP™ Quick Start Manual

DIP and Rotary Switches



Instructions Self-Test Mode

1) **Disconnect power and air from the manifold!**
2) Record current MCM settings.
3) Set the rotary switches to 99 (SW3 and SW4).
4) Make sure that SW1-5, SW2-1, and SW2-7 are in the "ON" position.
5) Select the desired test mode with SW2-8 (see table below)

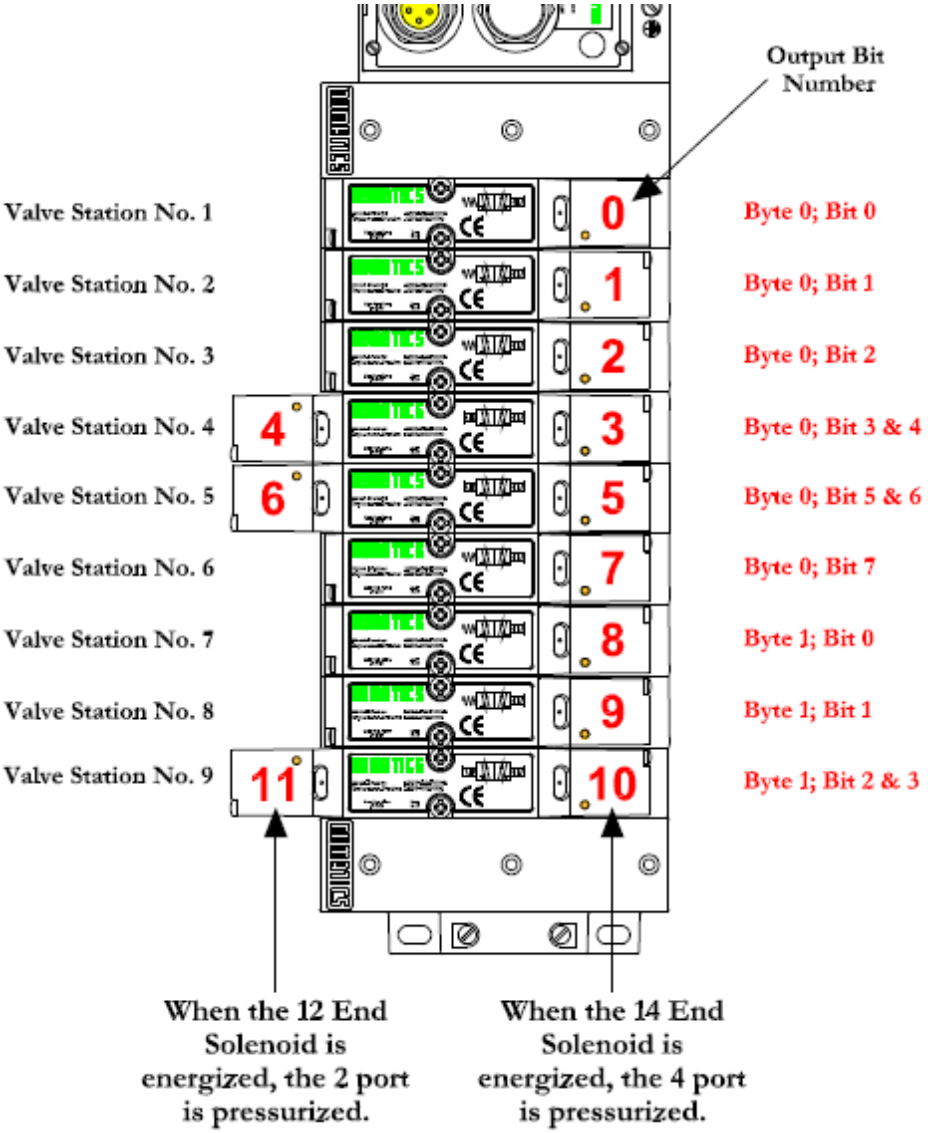
Switch	*Testing Mode*	*Setting*	*Description*
SW2-8	Output	Off	Sequentially turns all the outputs ON and OFF.
	Input/ Output	On	Causes all of the odd outputs to come on and stay on until an input is made. When an input is made, the outputs will toggle to the even outputs.

6) Make sure that all of the other switches are in the "OFF" position.

The initial conditions are now set. To enable the Self-Test Mode, apply power to the manifold and make the following changes within 5 to 10 seconds:

1) Set SW2-6 to the "ON" position.
2) Set SW2-7 to the "OFF" position.

IO Mapping Example


Output Bit Number
Valve Station No. 1
Valve Station No. 2
Valve Station No. 3
Valve Station No. 4
Valve Station No. 5
Valve Station No. 6
Valve Station No. 7
Valve Station No. 8
Valve Station No. 9
Byte 0; Bit 0
Byte 0; Bit 1
Byte 0; Bit 2
Byte 0; Bit 3 & 4
Byte 0; Bit 5 & 6
Byte 0; Bit 7
Byte 1; Bit 0
Byte 1; Bit 1
Byte 1; Bit 2 & 3
When the 12 End Solenoid is energized, the 2 port is pressurized.
When the 14 End Solenoid is energized, the 4 port is pressurized.