

Concevoir des applications IoT renforcées avec des réseaux d'alimentation et de données basés sur l'Ethernet industriel

Rolf Horn, Applications Engineer at Digi-Key Electronics

La connexion des installations de fabrication à Internet se traduit par des gains de rendement, de qualité et de productivité. Les machines peuvent par exemple être programmées et contrôlées à distance, les données des machines et des processus peuvent être analysées en continu pour vérifier les erreurs ou les écarts de processus, et des ajustements à distance peuvent être effectués pour adapter la production dans une boucle de rétroaction fermée. À plus long terme, les données peuvent être utilisées pour planifier la mise à l'échelle future et l'intégration plus rapide de nouvelles techniques de fabrication.

Si les arguments en faveur de la connectivité sont solides, la manière dont cette connectivité est réalisée nécessite une réflexion sérieuse. Il existe de nombreuses options, mais Ethernet offre une solution accessible et éprouvée pour le réseau d'usine. Il s'agit de l'option de réseau câblé la plus utilisée dans le monde, avec un bon support des fournisseurs et une interopérabilité transparente avec le cloud. Mieux encore, le câblage peut être utilisé pour l'alimentation électrique (Power over Ethernet, PoE) et pour la transmission de données, ce qui signifie qu'un seul jeu de câbles peut à la fois prendre en charge le réseau et alimenter les capteurs, les actionneurs et les autres dispositifs connectés, tels que les caméras.

Cependant, l'Ethernet standard n'est pas à la hauteur des exigences de l'industrie. Le matériel n'est pas conçu pour fonctionner de manière fiable dans un environnement industriel exposé à la chaleur, à la saleté et aux vibrations. De plus, les protocoles Ethernet standard sont non déterministes et donc mal adaptés aux besoins de l'environnement industriel où la production exige un contrôle en temps quasi réel pour gérer les processus haute vitesse.

L'Ethernet industriel offre tous les avantages de l'Ethernet standard, mais y ajoute la robustesse et un logiciel déterministe. Il s'agit d'une technologie mature et éprouvée pour l'automatisation industrielle, permettant non seulement d'envoyer des données de processus vers le cloud, mais également à un superviseur à distance d'accéder facilement aux commandes, aux PLC et aux dispositifs E/S sur le lieu de production. Un amendement de la norme Ethernet, IEEE 802.3cg, n'utilise qu'une seule paire de fils pour la transmission des données, réduisant l'encombrement et le coût du câblage en usine.

Cet article aborde le défi de la connectivité pour les applications industrielles avant d'exposer les différences entre Ethernet et Ethernet industriel. L'article examine ensuite l'utilisation des technologies PoE et Single Pair Ethernet (SPE) avant de présenter du matériel d'[Amphenol](#) et la manière dont il peut être mis en œuvre dans un réseau Ethernet industriel.

Les défis d'Ethernet pour l'industrie

Si le Wi-Fi constitue le moyen le plus populaire de se connecter à Internet pour les consommateurs, les locaux commerciaux utilisent généralement la technologie de réseau local (LAN) câblé Ethernet pour relier les ordinateurs et les autres équipements entre eux.

Aux débuts d'Ethernet, les ordinateurs d'un réseau utilisaient un seul bus pour communiquer. Ce type de réseau est la configuration la plus simple, la plus économique et la plus facile à mettre en place. Cependant, elle est relativement inefficace car les ordinateurs connectés se disputent la

bande passante, ce qui entraîne des surcharges, des paquets perdus et une réduction significative de la bande passante.

Les réseaux de bureau actuels utilisent généralement des topologies en étoile, arborescentes ou maillées dans lesquelles les commutateurs contrôlent l'accès au réseau pour limiter la congestion et maintenir le débit. Le trafic Ethernet est contrôlé par des commutateurs de manière à ce que les messages directs ne soient échangés qu'entre les dispositifs devant communiquer, plutôt que d'être distribués sur l'ensemble du réseau (Figure 1).



*Figure 1 : Les commutateurs Ethernet contrôlent l'accès au réseau pour limiter la congestion et maintenir le débit.
(Source de l'image : Amphenol)*

Basé sur une norme constamment mise à jour (IEEE 802.3), Ethernet est éprouvé, sécurisé, fiable, et offre des débits pouvant atteindre des centaines de giga-octets (Go). Bien que cela ne fasse pas partie de la norme, Ethernet utilise généralement TCP/IP (faisant partie de la suite IP) pour le routage et le transport, ce qui permet une connectivité transparente avec Internet. En outre, les réseaux peuvent facilement être mis à l'échelle grâce à des câbles, des connecteurs et des commutateurs disponibles auprès de centaines de fournisseurs.

Ethernet a évolué pour combiner l'alimentation et les communications sur un seul câble Ethernet CAT 3 ou CAT 5, permettant aux ingénieurs de construire rapidement et à moindre coût des réseaux d'alimentation et Ethernet nécessitant peu de maintenance, par rapport aux installations utilisant des systèmes séparés. Cette technologie a été formalisée par une norme de l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) appelée PoE. Les avantages clés de cette technologie sont sa simplicité et le fait que l'alimentation est disponible partout où il y a une prise de données. (Voir l'article sur la [présentation de Power over Ethernet](#).)

Un récent amendement à la spécification Ethernet, IEEE 802.3cg, décrit l'alternative SPE pour transmettre les données sur une seule paire plutôt que sur le câble multibrin CAT 3 ou CAT 5 de l'Ethernet standard ou PoE. La technologie SPE est adaptée aux applications d'automatisation industrielle car elle permet aux concepteurs dans les marchés de l'automatisation industrielle et de l'immobilier d'utiliser des protocoles Ethernet familiers pour la communication longue distance

entre les capteurs et les contrôleurs industriels, tout en réduisant considérablement le volume du câblage (Figure 2).

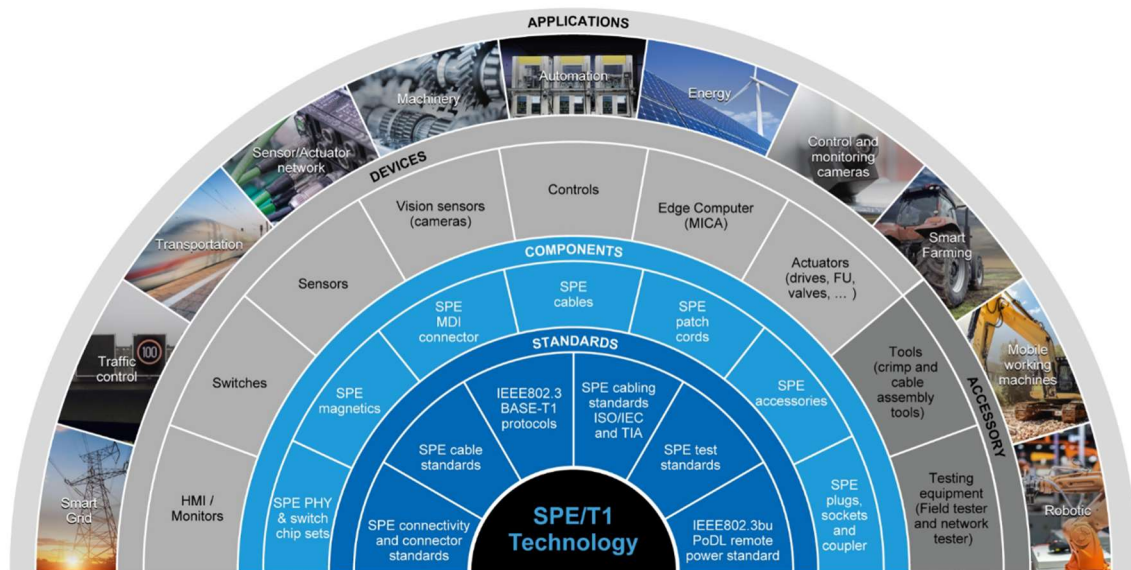


Figure 2 : Single pair Ethernet émerge comme une forme Ethernet compacte et économique pour un large éventail d'applications industrielles et commerciales. (Source de l'image : Amphenol)

En principe, Ethernet représente un moyen idéal de relier un front-office de supervision aux opérations de fabrication, comblant ainsi efficacement le fossé entre les réseaux de technologie de l'information (IT) et de technologie d'exploitation (OT).

Les installations de fabrication présentent des défis techniques supplémentaires lors de la mise en œuvre d'Ethernet. Tout d'abord, les usines constituent un environnement dangereux pour les câbles, les connecteurs et les commutateurs sensibles. L'environnement est exposé à la chaleur, à la poussière et à de nombreux produits chimiques qui sont incompatibles avec les câbles de plus de 100 mètres de long typiques des implémentations en usine. De plus, l'humidité et les vibrations ont des effets néfastes sur les conducteurs et les contacts. Les usines comptent également de nombreux gros moteurs qui s'allument et s'éteignent constamment, provoquant des transitoires de tension et des interférences électromagnétiques (EMI) qui peuvent perturber les communications Ethernet.

Ensuite, une usine de fabrication est remplie de robots qui se déplacent rapidement et de machines synchronisées qui nécessitent un contrôle en temps réel. Les mécanismes de communication non déterministes de l'Ethernet standard sont mal équipés pour fournir cette capacité de contrôle.

Matériel Ethernet industriel

Le terme « Ethernet industriel » est la désignation courante pour les systèmes Ethernet adaptés à une utilisation en usine. Ces systèmes sont caractérisés par des couches physiques (PHY) renforcées et des protocoles industriels tels que ModbusTCP, PROFINET et Ethernet/IP. De plus, contrairement aux implémentations Ethernet standard, l'Ethernet industriel utilise généralement des topologies en ligne ou en anneau car elles permettent de réduire la longueur

des câbles (ce qui limite l'impact des interférences électromagnétiques), de réduire la latence et d'intégrer un certain degré de redondance.

Les câbles sont renforcés et comportent un blindage contre les interférences électromagnétiques, et les connecteurs sont également protégés contre les rigueurs d'un environnement industriel.

Les fabricants répertorient la résistance de leurs produits selon le système de classification IP. L'indice IP indique le degré de protection fourni par le produit et est défini par la norme internationale EN 60529. Le système est composé de deux chiffres. Le premier représente le niveau de protection contre les objets solides, s'étendant des outils ou des doigts qui pourraient être dangereux en cas de contact avec des conducteurs électriques, aux poussières et saletés en suspension dans l'air qui pourraient endommager les circuits. Le deuxième chiffre définit la protection contre les gouttes d'eau, les pulvérisations ou l'immersion. La protection s'étend de IP00 (aucune protection contre la poussière ou l'eau) à IP69 (protection totale contre la poussière et les puissants jets d'eau haute température).

Les connecteurs Ethernet industriel sont typiquement logés dans une série de boîtiers de protection allant jusqu'à IP67. Dans ce cas, un indice de 6 signifie qu'aucune poussière ou saleté nocive ne s'infiltre dans l'unité, même après 8 heures de contact direct avec la contamination. Un indice de protection contre l'eau de 7 signifie que le dispositif peut être immergé dans 1 mètre d'eau douce pendant 30 minutes sans subir de dommages.

Lors de la sélection des couches PHY, des câbles et des connecteurs pour l'Ethernet industriel, le concepteur doit vérifier l'immunité aux EMI en recherchant dans la fiche technique les normes CEI et EN suivantes :

- Pointes d'énergie CEI 61000-4-5
- Transitoires électriques rapides (EFT) CEI 61000-4-4
- DES CEI 61000-4-2
- Immunité conduite CEI 61000-4-6
- Émissions rayonnées EN 55032
- Émissions conduites EN 55032

Le respect de tout ou partie de ces normes permet de garantir que les performances EMI du système Ethernet industriel dans l'environnement de l'usine seront satisfaisantes.

Connecteurs renforcés

Qu'ils soient intégrés aux panneaux de commande des machines, aux commutateurs Ethernet ou au câblage, les connecteurs sont essentiels aux performances d'un système Ethernet industriel. Sans une sélection rigoureuse, la défaillance d'un seul connecteur sous le stress de la production haute vitesse peut entraîner le dysfonctionnement ou l'arrêt de machines pesant des millions de dollars.

Plusieurs fournisseurs proposent des connecteurs Ethernet industriel fiables et éprouvés pour un éventail d'applications Ethernet, PoE et SPE. Par exemple, la solution de câble et de connecteur push-pull rectangulaire [Industrial IP6X](#) d'Amphenol offre une connectivité Ethernet CAT 6A utilisant l'interface de raccordement CEI 61076-3-124, et une étanchéité totale selon les spécifications IP65, IP66 et IP67. Les connecteurs sont destinés à être utilisés dans les applications Ethernet industriel exigeant une protection environnementale supplémentaire, et ils conviennent à tous les environnements difficiles/rudes intérieurs et extérieurs.

La gamme inclut le boîtier de connecteur rectangulaire IP67 [NDHN200](#) pour le montage sur panneau, illustré à la Figure 3. Le connecteur mâle à 10 positions, polyvalent et sans soudure [NDHN3A2](#) (Figure 4) est conçu pour le raccordement avec le NDHN200. Le connecteur mâle est doté d'un verrou et d'un moulage blindé. Il a une capacité de 50 volts (V) CA ou 60 V CC, 1,5 ampère (A), et il peut être connecté/déconnecté jusqu'à 250 fois.



Figure 3 : Le NDHN200 est un boîtier de connecteur rectangulaire répertorié IP67 pour les applications Ethernet industriel. (Source de l'image : Amphenol)



Figure 4 : Le NDHN3A2 est un connecteur mâle IP67 qui inclut un verrou et un moulage blindé. (Source de l'image : Amphenol)

Amphenol a également lancé des connecteurs SPE pour la connectivité Ethernet de périphériques tels que des capteurs, des actionneurs et des caméras qui fonctionnent à des vitesses atteignant 1 gigabit par seconde (Gb/s). Le facteur de forme SPE réduit la taille, le poids et le coût par rapport à l'Ethernet standard. Les connecteurs sont répertoriés IP67 et présentent un facteur de forme circulaire de taille M12. Ils se raccordent à des fiches terminables sur le terrain, fournissant une interface complètement blindée avec des fonctions de verrouillage. Leur capacité de tenue en tension/courant de 60 VCC et jusqu'à 4 A permet la prise en charge PoE sur une distance de 1 kilomètre (km). Le connecteur SPE 2P2C [MSPEJ6P2B02](#) est un exemple (Figure 5).



*Figure 5 : Le connecteur SPE IP67 MSPEJ6P2B02 est disponible dans le format circulaire M12 populaire.
(Source de l'image : Amphenol)*

L'entreprise propose également une gamme similaire de connecteurs SPE avec un format de fiche rectangulaire répertorié IP20 plutôt qu'IP67. La solution offre les mêmes performances électriques que la gamme M12 mais est moins coûteuse. Un exemple est le connecteur SPE modulaire [MSPE-P2L0-2A0](#) (Figure 6).

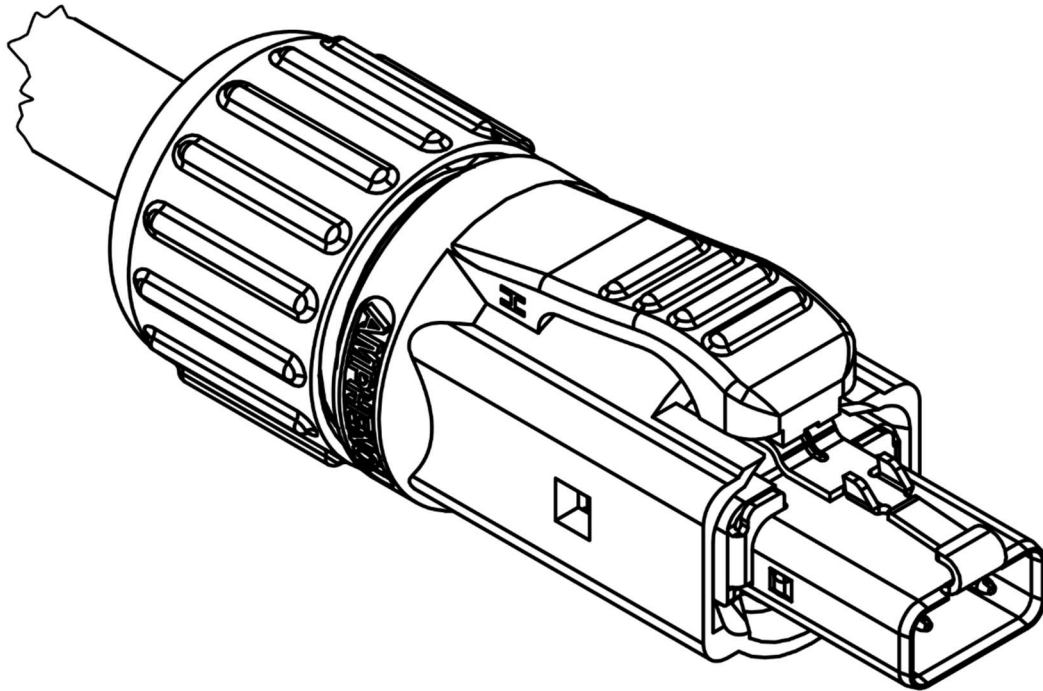


Figure 6 : Le connecteur SPE IP20 modulaire MSPE-P2L0-2A0 est une option rentable pour les environnements moins dangereux. (Source de l'image : Amphenol)

Protocoles Ethernet industriel

Le mécanisme de communication de l'Ethernet standard est satisfaisant pour le trafic relativement calme d'un bureau ou d'une petite entreprise. Mais ce mécanisme est toutefois vulnérable aux interruptions et aux paquets perdus, résultant en une latence accrue qui le rend inadapté aux exigences en temps quasi réel d'une chaîne de production synchronisée et en mouvement rapide. Comme précédemment mentionné, un tel environnement requiert un protocole déterministe pour garantir que les instructions des machines arrivent toujours à temps, quelle que soit la charge du réseau.

Pour relever ce défi, le matériel Ethernet industriel est soutenu par des logiciels également « industriels ». Il existe plusieurs protocoles Ethernet industriel éprouvés, notamment Ethernet/IP, ModbusTCP et PROFINET. Chacun d'eux est conçu pour garantir le déterminisme pour les applications d'automatisation industrielle.

La meilleure façon de décrire la différence entre les logiciels Ethernet et Ethernet industriel est de considérer le modèle d'abstraction à sept couches ISO/OSI (« pile »), qui inclut les couches PHY, liaison de données, réseau, transport, session, présentation et application. L'Ethernet standard comprend les couches PHY, liaison de données, réseau et transport (qui utilisent soit TCP/IP soit UDP/IP comme transport), et peut être considéré comme un mécanisme de communication qui apporte rendement, vitesse et polyvalence.

En revanche, les protocoles Ethernet industriel, par exemple PROFINET, utilisent la couche application de la pile Ethernet industriel. PROFINET est un protocole de communication conçu pour l'échange d'informations entre les machines et les contrôleurs dans un environnement d'automatisation, utilisant Ethernet standard comme mécanisme de communication (Figure 7).

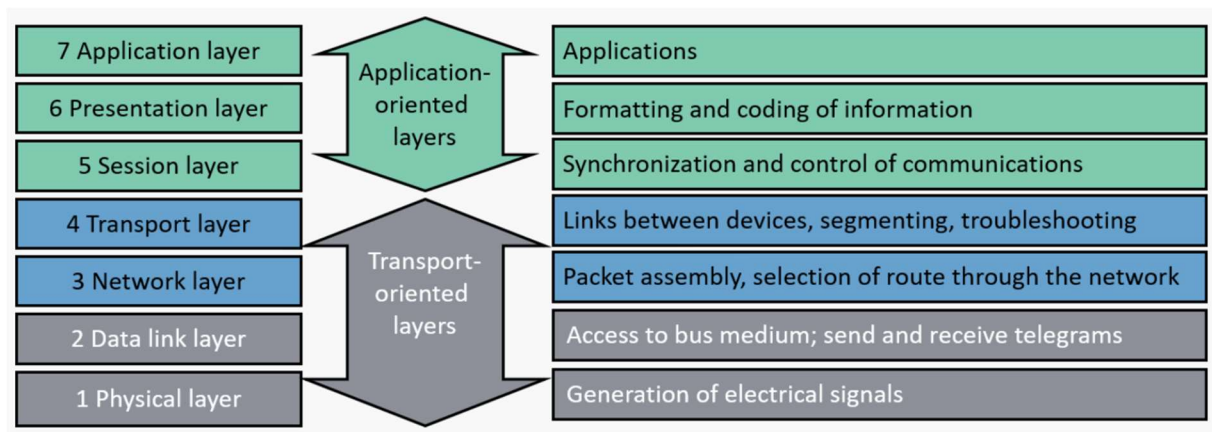


Figure 7 : Le modèle d'abstraction à sept couches ISO/OSI représentant la pile logicielle Ethernet industriel. Les protocoles Ethernet industriel tels que PROFINET se situent dans la couche application. (Source de l'image : Profinet)

Les logiciels Ethernet industriel peuvent également exploiter d'autres protocoles conçus spécifiquement pour l'envoi de données vers le cloud. Il s'agit par exemple de protocoles tels que MQTT ou SNMP.

Conclusion

Pour tenir compte de l'environnement difficile de l'usine et des exigences en temps réel, l'Ethernet industriel utilise un matériel renforcé tel que des commutateurs, des câbles et des connecteurs, ainsi que des logiciels industriels pour connecter de manière fiable les réseaux IT et OT de l'usine.

Comme illustré, des solutions de connecteurs commerciaux éprouvées permettent aux ingénieurs de tirer facilement parti de l'Ethernet industriel pour programmer et contrôler l'automatisation industrielle haute vitesse, tout en recueillant les données approfondies nécessaires pour améliorer et étendre les opérations de fabrication.