

Technologie 10BASE-T1L – pour une connectivité Ethernet avec les appareils de terrain

Par **Maurice O'Brien**, Strategic Marketing Manager
et **Volker Goller**, System Applications Engineer

La technologie 10BASE-T1L désigne une nouvelle norme de la couche physique Ethernet (IEEE 802.3cg-2019), qui a été ratifiée par l'IEEE le 7 novembre 2019. Cette norme va transformer en profondeur l'industrie de l'automatisation des procédés en améliorant de façon significative l'efficacité opérationnelle des sites industriels grâce à une connectivité Ethernet continue jusqu'aux appareils de terrain (capteurs et actuators). La technologie 10BASE-T1L permet de relever certains défis qui ont jusqu'à présent limité l'utilisation du protocole Ethernet dans l'automatisation des procédés : alimentation électrique, bande passante, câblage, distance de transmission, îlots de données et applications à sûreté intrinsèque en zone 0 (endroits à risque). En apportant une réponse à ces problèmes au niveau des infrastructures existantes (brownfield) comme des nouveaux projets (greenfield), la technologie 10BASE-T1L permettra d'obtenir de précieuses informations jusqu'alors inaccessibles, par exemple en combinant des variables de procédés, des paramètres secondaires et des informations relatives à l'état des actifs, tout en assurant leur transmission transparente à la couche de contrôle et au cloud. Ces nouvelles informations augurent de nouvelles possibilités en matière d'analyse des données, de connaissances opérationnelles et d'amélioration de la productivité grâce à un réseau Ethernet convergent, du terrain jusqu'au cloud (figure 1).

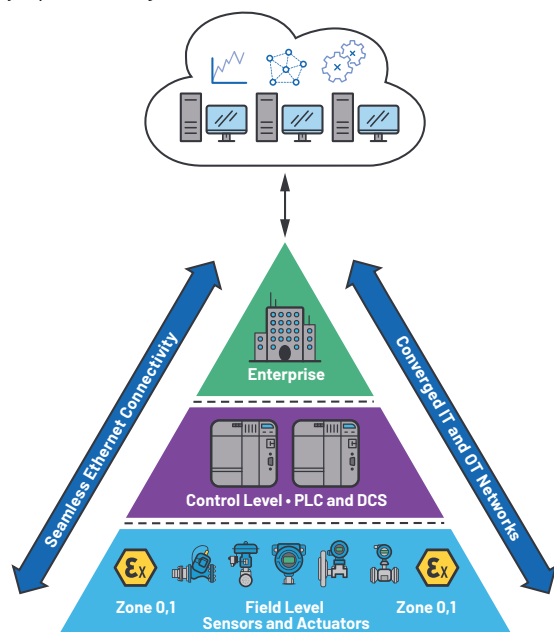


Figure 1. Connectivité Ethernet continue avec des capteurs et des actuateurs utilisés sur le terrain pour l'automatisation des procédés.

Pour remplacer les communications utilisant la boucle de courant 4-20 mA ou un bus de terrain (Foundation Fieldbus ou PROFIBUS® PA) par la technologie Ethernet dans les applications d'automatisation des procédés, il est nécessaire de fournir une alimentation électrique et des données aux capteurs ou aux actuateurs sur un câblage à paire torsadée unique (STP). Il s'agit d'un câblage à la fois plus économique, moins encombrant et plus simple à installer que d'autres câbles

plus complexes. En ce qui concerne l'automatisation des procédés, la distance jusqu'aux appareils de terrain a longtemps représenté un défi majeur pour les technologies qui utilisent la couche physique du réseau Ethernet industriel dont le rayon d'action est limité à 100 mètres. Sachant que la distance requise par les applications d'automatisation des procédés peut atteindre 1 kilomètre, et compte tenu de la nécessité d'utiliser des appareils de terrain robustes, peu gourmands en énergie et utilisables dans les applications à sûreté intrinsèque en zone 0, une nouvelle approche s'est avérée indispensable pour que la couche physique du réseau Ethernet puisse être associée à l'automatisation des procédés. C'est ce défi que la technologie 10BASE-T1L permet de relever.

La technologie 10BASE-T1L désigne un mode de communications point à point, équilibré en courant continu, fonctionnant en full duplex, avec modulation PAM3, un débit symboles maximum de 7,5 MBauds et un codage 4B3T. Elle prend en charge deux modes d'amplitude : 2,4 V crête à crête sur un câble pouvant atteindre 1000 mètres, et 1,0 V crête à crête sur une distance réduite. Avec le second mode d'amplitude (1,0 V crête à crête), cette nouvelle technologie de couche physique peut également être déployée dans un environnement où sont utilisés des systèmes antidéflagrants (codification « Ex-proof ») tout en respectant des plafonds de consommation d'énergie stricts. Le protocole 10BASE-T1L autorise des distances de transmission élevées en technologie bifilaire, l'alimentation électrique et les données étant transmises sur une paire torsadée blindée unique (STP) ; ce protocole appartient à la famille des supports Ethernet à paire unique (SPE – Single-Pair Ethernet).

La technologie 10BASE-T1L délivre une puissance d'alimentation sensiblement plus élevée aux appareils de terrain, à savoir jusqu'à 500 mW dans les applications à sûreté intrinsèque (zone 0), contre environ 36 mW avec une boucle de courant 4-20 mA. Dans les applications à sûreté non intrinsèque, une puissance de 60 W est possible en fonction du câblage employé. Avec une puissance nettement supérieure disponible en périphérie de réseau, il sera possible d'utiliser de nouveaux appareils de terrain dotés de caractéristiques et de fonctionnalités enrichies, dans la mesure où les limitations propres à la boucle de courant 4-20 mA et aux bus de terrain auront disparu. Par exemple, la puissance accrue permet des mesures plus précises et un traitement des données plus performant en périphérie de réseau. Ces améliorations permettront également d'obtenir de précieuses informations à propos des variables de procédés, lesquelles seront accessibles via un serveur Web associé aux appareils (« actifs ») de terrain ; à terme, elles amélioreront et optimiseront les flux de procédés et la gestion des actifs.

Pour exploiter pleinement le jeu de données qui contient ces nouvelles informations, une connectivité large bande est nécessaire afin de transmettre les données depuis les appareils de terrain, à travers l'installation des procédés, jusqu'à l'infrastructure de l'usine – ou le cloud – pour le traitement et l'analyse des données. La technologie 10BASE-T1L évite d'utiliser des passerelles complexes et gourmandes en énergie, et permet de déployer un réseau Ethernet convergent qui englobe les technologies de l'information (IT) et les technologies opérationnelles (OT). Ce réseau convergent simplifie le processus d'installation et facilite le remplacement des appareils tout en accélérant la mise en service et la configuration du réseau. Résultat, la mise à jour des logiciels s'effectue plus rapidement, tandis que l'analyse des causes d'erreur et la maintenance des appareils de terrain gagnent en simplicité.

Avantages d'une solution utilisant le protocole Ethernet

Converger vers l'Ethernet comme moyen de communications pour l'automatisation industrielle aux niveaux de l'entreprise, du contrôle et du terrain évite de recourir à des passerelles coûteuses, complexes et gourmandes en énergie. Cela permet d'abandonner l'infrastructure de bus de terrain extrêmement fragmentée qui a donné naissance à des « îlots de données » pour lesquels il est difficile d'accéder aux informations contenues dans les appareils de terrain. En outre, la suppression de ces passerelles réduit de façon significative le coût et la complexité de ces installations historiques, tout en éliminant les îlots de données.

Jusqu'à présent, les applications d'automatisation des procédés utilisaient les standards et normes de communications historiques (tableau 1), dont plusieurs limitations sont surmontées par la nouvelle norme Ethernet 10BASE-T1L. L'automatisation des procédés soulève par ailleurs un défi concernant la base de connaissances. De nombreux techniciens et ingénieurs arrivent à l'âge de la retraite et quittent le monde du travail en emportant avec eux un savoir détaillé quant à la manière de déployer, de déboguer et d'assurer la maintenance d'installations utilisant la boucle 4-20 mA avec des systèmes de communications HART® ou un bus de terrain. Les jeunes diplômés ne connaissent pas ces technologies, mais ils maîtrisent les arcanes du protocole Ethernet et peuvent rapidement mettre en place des solutions de connectivité basées sur ce protocole.

Table 1. Boucle de courant 4-20 mA avec protocole HART®, bus de terrain et 10BASE-T1L

Comparaison	Boucle de courant 4 - 20 mA avec protocole HART	Bus de terrain	10BASE-T1L
Bande passante	1,2 kbit/s	31,25 kbit/s	10 Mbit/s
Connectivité Ethernet de niveau supérieur	Passerelles complexes	Passerelles complexes	Pas de passerelles, connectivité transparente
Alimentation des instruments	<40 mW	Puissance limitée	Sûreté intrinsèque : 500mW Sûreté non intrinsèque : jusqu'à 60 W (selon le câblage)
Connaissances / Expertise	Connaissances et expertise en voie de disparition	Connaissances et expertise en voie de disparition	Les jeunes diplômés maîtrisent très bien la technologie Ethernet

Les normes Ethernet garantissent que la totalité des couches supérieures de protocole avec la technologie 10BASE-T1L fonctionne exactement comme avec les modes 10BASE-T, 10BASE-TX et 100BASE-T, ce qui évite d'utiliser des passerelles complexes. La norme IEEE 802.3 définit l'ensemble des couches physiques du modèle OSI à 7 couches pour l'Ethernet 10BASE-T1L (voir figure 2). En d'autres termes, les appareils peuvent désormais utiliser les protocoles PROFINET, Ethernet™/IP, HART/IP, OPC UA™ ou MODBUS®/TCP, et prendre en charge les protocoles IoT tels que MQTT, ce qui représente un moyen simple et puissant de

relier un appareil de terrain au cloud. Le protocole Ethernet permet également de procéder facilement et de façon centralisée à des mises à jour logicielles jusqu'aux nœuds finaux, ce qui accélère la mise en service du réseau.

Layer	Type	OSI Model	TCP/IP Model	Authority
7	Data	Application Layer	Application Layer	RFCs, IETF, Industry Organizations, etc.
6	Data	Presentation Layer		
5	Data	Session Layer		
4	Segments	Transport Layer	TCP/UDP	
3	Packets	Network Layer	IP	
2	Frames	Data Link Layer	Ethernet Data Link	IEEE 802.1
1	Bits	Physical Layer	Ethernet 10BASE-T1L	IEEE 802.3

Figure 2. 10BASE-T1L dans le modèle OSI à 7 couches.

Pour communiquer avec un appareil compatible 10BASE-T1L, il est nécessaire que celui-ci dispose d'un processeur hôte avec contrôle d'accès au support (MAC - Medium Access Support) intégré, d'un convertisseur de supports passif, ou d'un switch doté de ports 10BASE-T1L. Aucun logiciel supplémentaire, aucune pile TCP/IP personnalisée, ni aucun pilote spécial ne sont nécessaires (voir figure 3), ce qui assure des avantages évidents pour les appareils 10BASE-T1L :

- Bien que nécessaire pour la connexion à la couche 10BASE-T1L, le convertisseur de supports convertit uniquement le codage physique, et non le contenu des paquets Ethernet. Du point de vue des logiciels et des protocoles de communications, son fonctionnement est transparent.
- Avec l'Ethernet, il est possible de configurer des capteurs avec un ordinateur portable ou un téléphone mobile, que le capteur soit placé sur le bureau ou déployé sur un site industriel. Par exemple, un émetteur de température dispose aujourd'hui d'une interface supplémentaire (un port USB, par exemple) pour configurer le convertisseur. Selon le fabricant, il existe plus d'une centaine de réglages possibles. Aujourd'hui, ces paramètres ne sont tout simplement pas accessibles avec une boucle de courant 4-20 mA. Le protocole HART permet d'y accéder, mais cette fonctionnalité est souvent indisponible en raison de son coût élevé. Par conséquent, si une erreur est commise lors de la configuration initiale sur table, un capteur fonctionnant sur une boucle de courant 4-20 mA devra être reconfiguré après l'installation sur site. En revanche, un capteur connecté en 10BASE-T1L est accessible sur le réseau et peut être mis à jour à distance à tout moment et en tous lieux.
- Les appareils 4-20 mA peuvent transférer une seule et unique valeur de processus. Le protocole Ethernet fournit un accès direct non seulement aux valeurs de processus, mais également à tous les paramètres des appareils, tels que la gestion des actifs, la gestion du cycle de vie, la maintenance prédictive, la configuration et le paramétrage.



10BASE-T1L

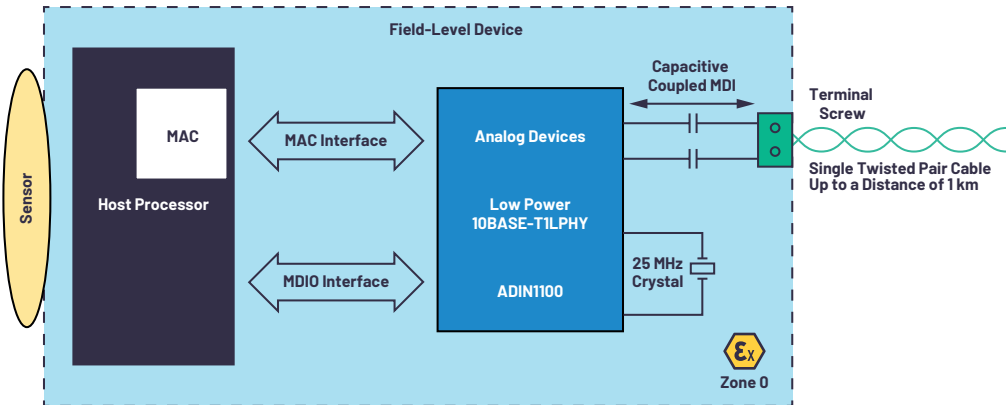


Figure 3. Connectivité d'un appareil de terrain avec un PHY 10BASE-T1L.

- Les capteurs sont de plus en plus complexes et la probabilité de mise à jour des logiciels augmente. Grâce à une connexion Ethernet haut débit, ces opérations sont désormais possibles dans des délais réalistes, à tout moment et en tous lieux.
- L'accès à des outils de diagnostic avancé du réseau Ethernet simplifie l'analyse des causes profondes.

Câblage et déploiement du réseau dans le domaine de l'automatisation des procédés

Dans l'automatisation des procédés — et contrairement à la construction mécanique ou à l'automatisation des sites industriels —, les actionneurs et capteurs (débit, niveau, pression ou de température) ne sont pas situés à proximité du contrôleur. Des distances de 200 mètres entre les capteurs et les entrées/sorties sont monnaie courante, et la distance qui les sépare des switches de terrain peut atteindre 1000 mètres. L'automatisation des procédés utilise le câblage de bus de terrain de type A déjà employé dans les installations actuelles de type PROFIBUS PA et Foundation Fieldbus.

Au lieu de spécifier un certain support de transmission (câble), la norme 10BASE-T1L définit un modèle de canal avec des exigences de pertes par réflexion et d'insertion. Le modèle de canal 10BASE-T1L convient aux câbles pour bus de terrain de type A, de sorte que certains câbles installés pour la boucle de courant 4-20 mA peuvent être réutilisés avec la technologie 10BASE-T1L, avec à la clé d'importantes possibilités de mise à niveau des installations déjà en service.

Dans la mesure où elle permet d'abaisser la tension d'amplitude du signal à 1 V sur des lignes pouvant atteindre environ 200 mètres, la technologie 10BASE-T1L convient aux environnements où sont installés des systèmes antidéflagrants tout en respectant les plafonds de consommation d'énergie stricts propres aux zones à risque avec une puissance maximale de 500 mW.

Compte tenu de l'augmentation significative du niveau de puissance par rapport aux boucles de courant 4-20 mA (500 mW contre ~36 mW), il est possible, à présent, de remplacer les actuels appareils quadrifilaires qui nécessitent une alimentation externe — en raison de la puissance limitée de la boucle 4-20 mA — par des solutions bifilaires compatibles 10BASE-T1L. Cette évolution apporte une plus grande flexibilité pour l'installation de nouveaux appareils en évitant d'utiliser une alimentation externe.

La figure 4 représente la proposition de topologie de réseau pour l'industrie des procédés, avec lignes principales et lignes secondaires. Les câbles de ligne principale (trunk), dont la longueur peut atteindre 1 km avec une amplitude sur couche PHY de 2,4 V crête à crête, se trouvent dans la zone 1, division 2. Les câbles de ligne secondaire (spur) peuvent s'étendre sur 200 mètres avec une amplitude sur la couche PHY de 1,0 V crête à crête ; ils se trouvent dans la zone 0, division 1. Un switch de puissance situé au niveau « control » pilote la fonction de commutation Ethernet et alimente le câble (par l'intermédiaire des lignes de données). Les switches de terrain résident au niveau « Field » dans la zone à risque et sont alimentés par le câble. Les switches de terrain pilotent la fonction de commutation Ethernet en connectant les appareils de terrain aux lignes secondaires (spur) afin de les raccorder à la ligne principale (trunk) et alimenter les appareils de terrain. Plusieurs switches de terrain sont connectés sur un câble de ligne principale pour connecter au réseau les nombreux appareils de terrain.

Les switches de terrain peuvent être connectés via une topologie en anneau pour permettre une redondance. En périphérie de réseau, un débit de l'ordre de 10 Mbit/s représente une avancée majeure pour la plupart des applications qui opéraient jusqu'alors à moins de 30 kbit/s. La technologie Ethernet étant à présent utilisée pour connecter les appareils au niveau terrain, les connexions IT (technologies de l'information) et OT (technologies opérationnelles) convergent avec succès sur un réseau Ethernet global, permettant l'adressage IP de tout appareil d'extrémité, indépendamment du lieu où il se trouve sur la planète.

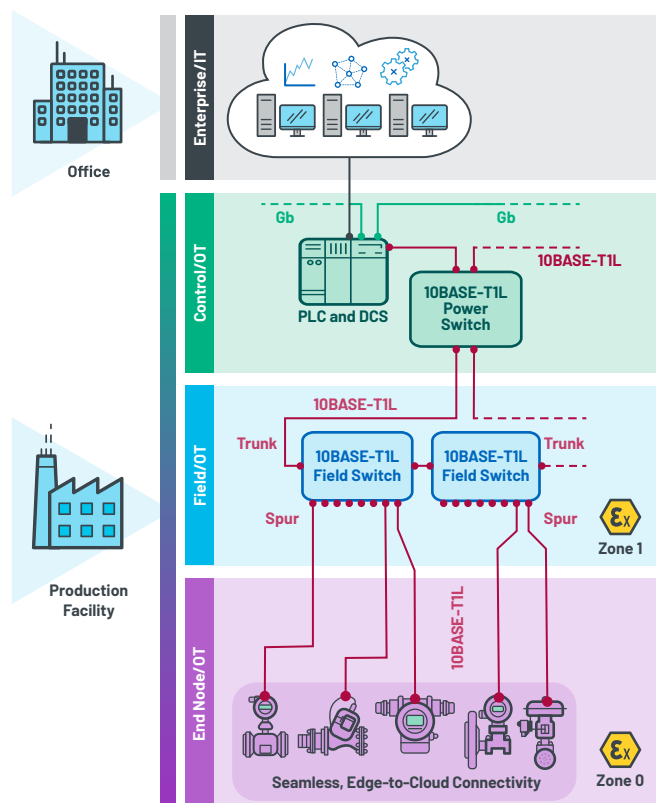


Figure 4. Topologie de réseau 10BASE-T1L pour l'industrie des procédés.

Ethernet-APL avec 10BASE-T1L

La technologie Ethernet-APL (Advanced Physical Layer) spécifie de façon détaillée la façon dont le protocole de communications Ethernet est appliqué aux capteurs et actionneurs dans l'industrie des procédés ; elle sera définie par la Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Dérivée de la norme de couche physique Ethernet 10BASE-T1L, cette spécification englobe les méthodes de mise en œuvre et de protection contre les explosions en cas d'utilisation dans des endroits à risque. Les principaux acteurs de l'industrie de l'automatisation des procédés collaborent sous l'égide des associations PROFIBUS et PROFINET® International (PI), ODVA, Inc. et FieldComm Group® pour assurer la compatibilité de la couche Ethernet-APL avec les protocoles Ethernet industriels et accélérer son déploiement.

Automatisation des procédés : une transition simplifiée vers la connectivité Ethernet de demain

La connexion sur une boucle de courant 4-20 mA avec le protocole HART est utilisée avec succès depuis de nombreuses années dans des applications d'automatisation des procédés ; cette solution robuste et éprouvée ne disparaîtra pas du jour au lendemain. Le parc de configurations utilisant la boucle de courant 4-20 mA avec des instruments compatibles HART est très vaste. Pour sa part, Analog Devices investit dans des entrées/sorties configurables par logiciel, ce qui confère une flexibilité d'installation accrue aux dispositifs existants en permettant d'accéder à toute fonction d'E/S industrielle sur n'importe quelle broche. Dans les applications d'E/S à distance, les canaux peuvent ainsi être configurés à tout moment. En d'autres termes, la personnalisation peut avoir lieu lors de l'installation, ce qui accélère la mise sur le marché, réduit les ressources de conception requises et permet de réaliser des produits universels pouvant être déployés à grande échelle, que ce soit dans le cadre de projets ou par les clients. Les circuits [AD74413](#) et [AD4110-1](#) d'Analog Devices sont deux exemples de circuits d'E/S programmables par logiciel.

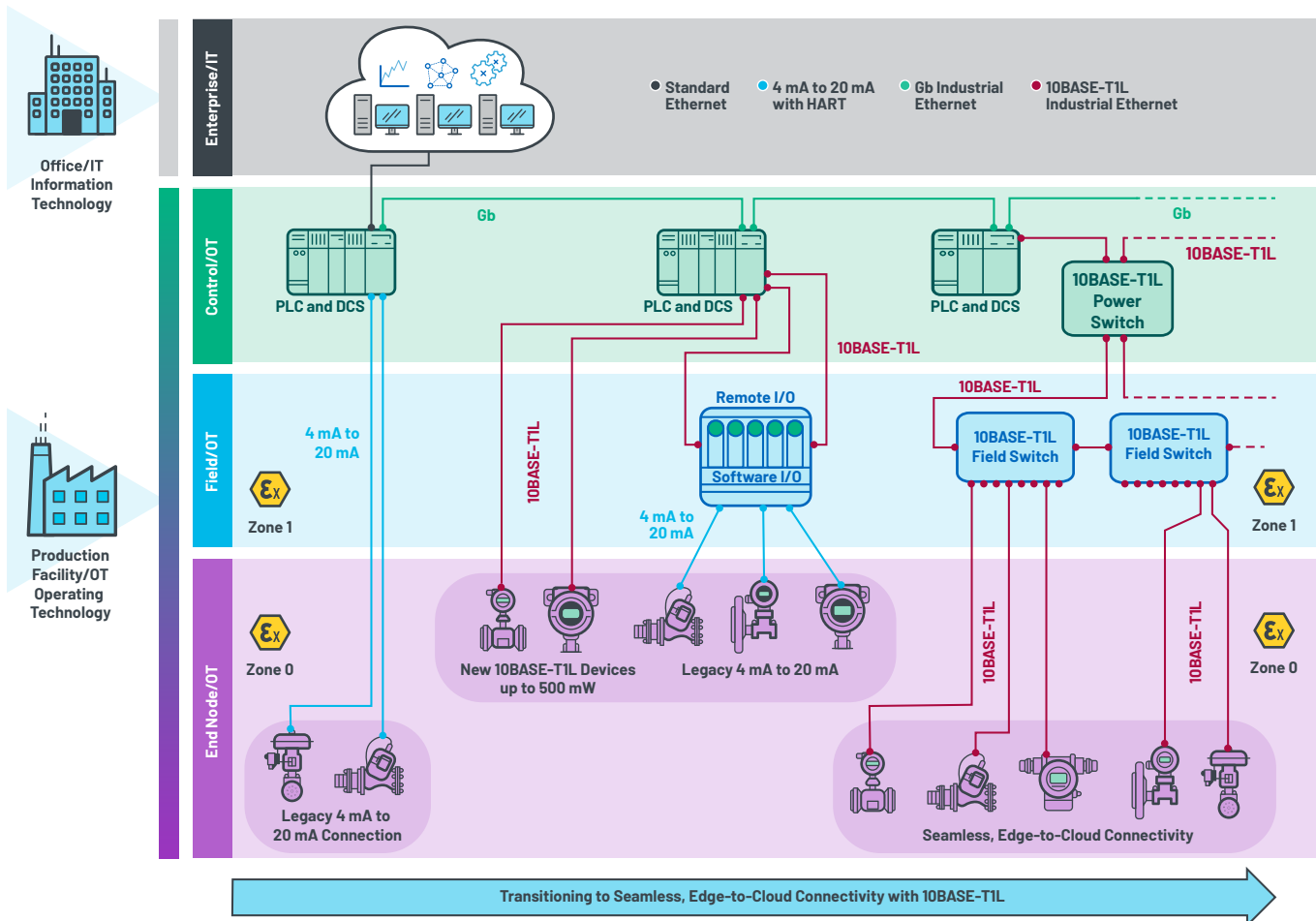


Figure 5. L'ancien câblage « discret » va progressivement se transformer en un réseau Ethernet intelligent intégrant l'ensemble des capteurs et des actionneurs.

La figure 5 illustre l'évolution des anciens instruments connectés sur une boucle de courant 4-20 mA vers un réseau Ethernet où de nouveaux instruments compatibles avec la technologie 10BASE-T1L cohabiteront avec les instruments fonctionnant sur la boucle 4-20 mA. Une entrée/sortie configurable par logiciel relie ces derniers où des E/S distantes représentent le point d'agrégation avec une liaison montante Ethernet à 10 Mbit/s vers l'automate programmable (PLC).

La technologie 10BASE-T1L assurera à l'industrie de l'automatisation des procédés une connectivité transparente entre la périphérie de réseau et le cloud. Elle évitera de recourir à des passerelles et des E/S, tout en permettant de connecter des appareils de terrain jusqu'au niveau « contrôle » et, à terme, au cloud, via une liaison Ethernet. Cette ouverture des appareils de terrain donnera naissance à des ensembles de données d'une grande richesse et à des capacités analytiques avancées.

Applications de la technologie 10BASE-T1L au-delà de l'automatisation des procédés

La technologie 10BASE-T1L commence à s'imposer dans les domaines du bâtiment intelligent, de l'automatisation industrielle, de la fourniture d'énergie, de la surveillance, de l'automatisation des réseaux d'eau et du traitement des eaux usées et enfin, des ascenseurs. Toutes ces applications partagent les mêmes exigences : une bande passante plus large et une connectivité Ethernet transparente (sans passerelle) jusqu'au capteur sur un seul câble à paire torsadée acheminant à la fois l'alimentation électrique et les données. Le tableau 2 compare la technologie 10BASE-T1L aux technologies câblées actuelles. Parmi les exemples d'application, citons le protocole RS-485 utilisé dans le domaine du bâtiment intelligent et les liaisons d'E/S dans l'automatisation industrielle.

Grâce à la technologie 10BASE-T1L, les appareils connectés créent des informations pertinentes qui contribuent à l'optimisation des procédés

En ajoutant des produits de couche physique 10BASE-T1L à son portefeuille de solutions Chronous™ pour l'Ethernet industriel, Analog Devices facilite la transition vers des installations d'automatisation des procédés connectées du terrain jusqu'au cloud, y compris sur les sites à risques de différents secteurs d'activité (agroalimentaire et boissons, laboratoires pharmaceutiques ou hydrocarbures). Les nouveaux émetteurs-récepteurs de couche physique 10BASE-T1L fourniront l'interface nécessaire pour offrir les nombreux avantages inhérents aux installations connectées à l'Ethernet. Avec la technologie 10BASE-T1L, les paquets Ethernet passent du niveau « terrain » au niveau « contrôle » et jusqu'au cloud, sans passerelles, remplissant ainsi les objectifs visés par les réseaux de l'Industrie 4.0 unifiant les technologies de l'information et les technologies opérationnelles (IT/OT). Grâce à une puissance disponible nettement supérieure, de nouveaux appareils de terrain compatibles Ethernet-APL et dotés de caractéristiques et de fonctions perfectionnées pourront être pris en charge. L'adressabilité IP transparente de chaque appareil de terrain simplifiera considérablement l'installation, la configuration et la maintenance des instruments connectés avec le protocole 10BASE-T1L. Cette technologie ouvrira la voie à de nouveaux appareils de terrain, à des ensembles de données d'une grande richesse exploitable en environnement cloud et à l'analyse avancée des données. L'efficacité opérationnelle des usines sera accrue grâce à la possibilité d'accéder aux informations exploitables extraites de leurs procédés. Ceci accélérera le déploiement d'installations de production plus complexes.

Pour plus d'informations sur le portefeuille de solutions pour l'Ethernet industriel ADI Chronous™ d'Analog Devices et sur la manière dont ces solutions accélèrent la transition vers les réseaux Ethernet industriels, visitez le site analog.com/chronous.

Table 2. Comparaison des normes et standards de communications existants et de 10BASE-T1L

Protocole	Format des paquets	Longueur des câbles	Débit	Alimentation par câble de données	Connecteur	Utilisation à sûreté intrinsèque
PROFIBUS PA	UART/PROFIBUS	1200 m	31,25 kbit/s, bus, semi-duplex	Oui	M12, Bornes à vis	Oui
Modbus RTU et autres protocoles RS-485	UART/Modbus	1200 m (jusqu'à environ 185 kbit/s ; 300m à 375 kbit/s 200m à 500 kbit/s)	Typiquement 19,2 kbit/s, bus, semi-duplex	Non	DB9, M12	N/A
Liaison E/S	Liaison E/S	20 m	Max 230,4 kbit/s, semi-duplex	Non	M12	Non
Boucle de courant 4 - 20 mA	Interface analogique	>10 km	-/-	Oui, 36 mW	Vis	Oui
HART	Modulation numérique sur la boucle de courant 4 - 20 mA	>1500 m	1200 bit/s, bus, semi-duplex	Oui, 36 mW	Vis	Oui
10BASE-T1L	Ethernet IEEE 802.3	1000 m (2,4 V) avec jusqu'à 10 boîtiers de raccordement	10 Mbit/s, duplex intégral	Oui, jusqu'à 60 W Jusqu'à 500 mW dans les zones anti-déflagration (Zone 0)	Borne à vis ou connecteur IDC, en option, connecteur Ethernet à paire unique	Oui
		>200 m (1,0 V)				

About the Authors

Maurice O'Brien is the strategic marketing manager for industrial connectivity at Analog Devices. He is responsible for the strategy supporting Industrial Ethernet connectivity solutions for industrial applications. Prior to this role, Maurice spent 15 years working in applications and marketing roles in power management with Analog Devices. He has a Bachelor of Engineering degree in electronic engineering from the University of Limerick, Ireland. He can be reached at maurice.obrien@analog.com.

Volker E. Goller is a systems applications engineer with Analog Devices and has over 30 years of experience with a diverse set of industrial applications ranging from complex motion control and embedded sensors to time sensitive networking technology. A software developer by trade, Volker has developed a wide variety of communication protocols and stacks for wireless and wired applications while actively engaging in fielding new communication standards through his involvement in leading industry organizations. He can be reached at volker.goller@analog.com.

Engage with the ADI technology experts in our online support community. Ask your tough design questions, browse FAQs, or join a conversation.

 **ADI EngineerZone™**
SUPPORT COMMUNITY

Visit ez.analog.com