

UN RÉSEAU DE COMMUNICATIONS PLUS INTELLIGENT AU SERVICE DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Conduire la transformation vers le réseau électrique intelligent grâce à l'optique par paquets sur Ethernet

Introduction

Dans leur évolution vers les réseaux électriques intelligents, les compagnies électriques ont besoin d'une évolution comparable des réseaux de communications sous-jacents. Un réseau flexible et à l'épreuve du temps est crucial aux compagnies électriques pour atteindre leurs objectifs commerciaux et assurer des performances sécurisées et fiables aux applications du réseau électrique intelligent. Toutefois, la plupart des compagnies électriques ne sont pas aujourd'hui prêtes à relever un tel défi et certaines solutions de réseaux nouvelle génération peuvent être très coûteuses et complexes à déployer à grande échelle.

Les réseaux électriques intelligents nécessitent un réseau de pointe capable de :

- Fournir des services de voix et de données essentiels pour l'exploitation et la gestion du réseau électrique.
- Satisfaire des besoins plus soutenus en performance, bande passante, sécurité, consolidation et prise en charge des applications héritées.

- Améliorer la flexibilité, la fiabilité, la sécurité et l'efficacité de tous les éléments du réseau électrique intelligent.
- Permettre la surveillance, l'automatisation et l'optimisation des opérations du réseau électrique.

Les réseaux électriques actuels, basés sur une technologie SDH/SONET, sont difficiles et coûteux à entretenir. Ils sont incapables de satisfaire les besoins d'un réseau électrique intelligent à long terme. De plus, de nombreuses compagnies électriques devront remplacer des réseaux superposés spécialement conçus pour prendre en charge des appareils hérités et des besoins opérationnels et informatiques spécifiques.

Continuer à investir dans ces réseaux hérités n'est pas une solution viable pour la transition vers les réseaux électriques intelligents. Les compagnies électriques doivent plutôt envisager des options de réseaux de communications nouvelle génération qui les aideront, en même temps que leurs clients, à profiter pleinement des réseaux électriques intelligents, comme le présente la figure 1.

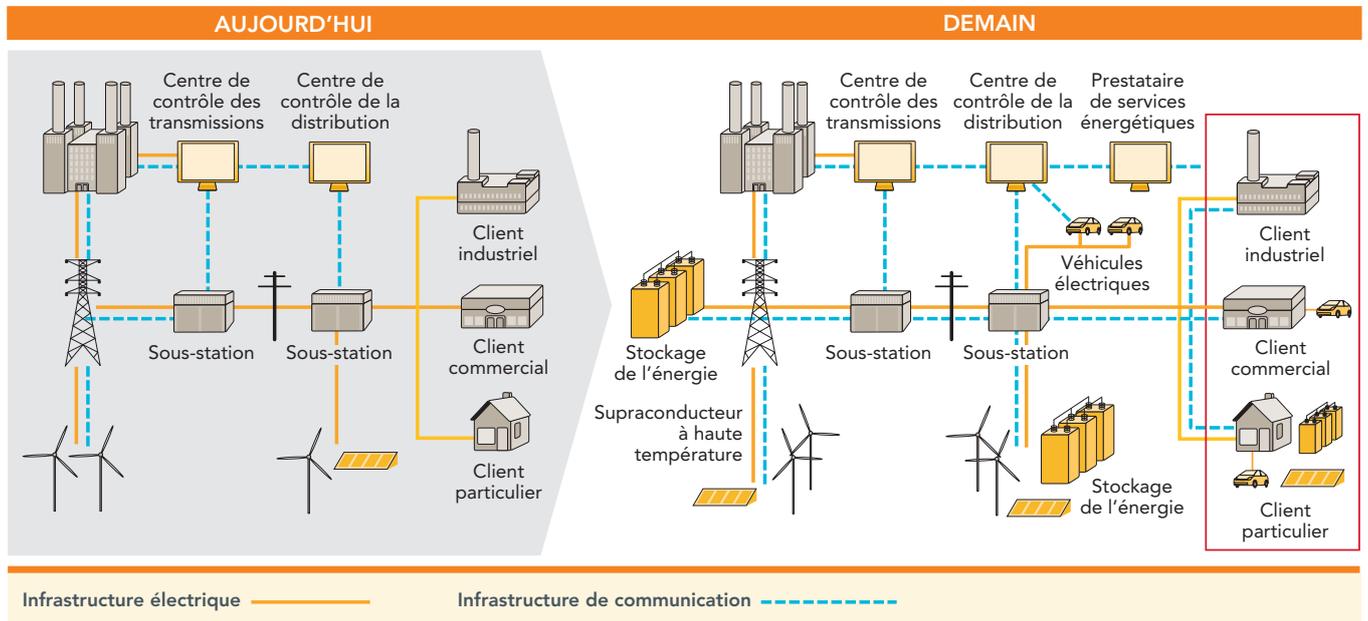


Figure 1. Sur un réseau électrique intelligent, le réseau facilite les communications entre les systèmes à tous les niveaux, aussi bien au sein du réseau électrique et de l'infrastructure informatique qu'à l'extérieur avec les clients

Prise en charge des communications principales d'un réseau électrique intelligent

Un réseau de communications optimisé pour un réseau électrique intelligent peut prendre en charge des fonctions comme :

- Agréger les données provenant des compteurs des clients et les fournir au centre de contrôle, ce qui permet d'effectuer en temps réel ou quasi-réel la lecture des compteurs et la gestion de leurs données.
- Relier les équipements d'automatisation et les appareils IED (Intelligent Electronic Device) utilisés par les systèmes de contrôle et d'optimisation du réseau électrique.
- Fournir des données stratégiques et sensibles au délai de transit concernant les sous-stations vers des programmes de diagnostic et de surveillance pour améliorer la fiabilité du réseau électrique.

Alternatives pour l'architecture des réseaux de communications

Les réseaux IP/MPLS sont souvent le choix de facto pour moderniser un réseau hérité et de nombreuses compagnies électriques n'ont pas conscience des choix possibles pour concevoir un réseau nouvelle génération. Supposition est faite que, parce que les réseaux des autres entreprises sont sur IP, le seul choix possible est de construire un réseau IP de type « best effort » sur routeurs en utilisant des services MPLS (Multi-Protocol Label Switching).

Actuellement, de nombreux opérateurs de réseaux stratégiques partout dans le monde se dirigent vers une technologie déterministe optique par paquets. Cependant, certaines équipes informatiques de compagnie électrique peuvent hésiter à envisager une technologie optique par paquets en raison de deux idées fausses concernant son élaboration et ses capacités, en comparaison à un réseau par routeurs.

La première idée fausse est que, du fait que tous les services réseau se dirigent vers IP, mieux vaut faire passer tout le trafic par des routeurs. Sur un réseau électrique, le trafic n'est pas totalement sur IP et une commutation optique par paquets est généralement plus efficace pour gérer de multiples types de trafic. Même si la couche de service peut comprendre un adressage IP, il n'y a aucune raison de surcharger les paquets de la couche de transport avec un routage IP inutile.

De plus, le protocole IP en lui-même est une technologie sans connexion qui rend inexact et fastidieux l'important effort d'ingénierie du trafic. Bien que cet effort peut être en partie simplifié en utilisant des outils d'ingénierie du trafic IP, il ajoute une complexité inutile à l'exploitation du réseau.

Enfin, même si le routage est important, il peut s'avérer inutilement complexe et coûteux s'il est déployé partout sur le réseau. Par exemple, le besoin de configuration individuelle des routeurs contribue à une croissance proportionnelle des coûts opérationnels à chaque fois qu'un nouvel appareil est

déployé. À l'inverse, il est plus simple et moins coûteux de commuter le trafic des données à travers une couche de transport moins haute, déterministe et très fiable.

La deuxième idée fautive est qu'un routage IP réduit les coûts et simplifie l'architecture globale du réseau en éliminant les couches les plus basses du réseau (L0, L1 et L2). En fait, les couches basses sont avantageuses car elles augmentent l'efficacité et la disponibilité du réseau, en même temps qu'elles accueillent le trafic non-routé généré par certaines applications des compagnies électriques.

L'objectif final d'une commutation optique par paquets est de fournir davantage d'évolutivité et de tolérance au réseau, avec un moindre coût par bit qu'un réseau routé.

Un réseau optique de paquets : comment cela fonctionne

Une architecture réseau optique par paquets intègre une couche optique agile, basée sur un multiplexage DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) en couche 0, une couche OTN (Optical Transport Network) en couche 1 et une couche paquets Carrier Ethernet en couche 2. Une telle architecture permet à un trafic d'applications d'être transmis en longueur d'onde, intervalles ou paquets en utilisant la couche réseau la plus économique.

Sous sa forme la plus basique, une commutation optique par paquets fait converger tous les éléments de transport sur une seule plate-forme qui fonctionne entre les couches 0 et 2,5. En comparaison, un routeur IP ne fonctionne qu'en couche 3. Tout le trafic n'est pas routé sur IP et de nombreux services sur le réseau peuvent profiter d'une commutation sur une couche plus basse, comme le montre la figure 2.

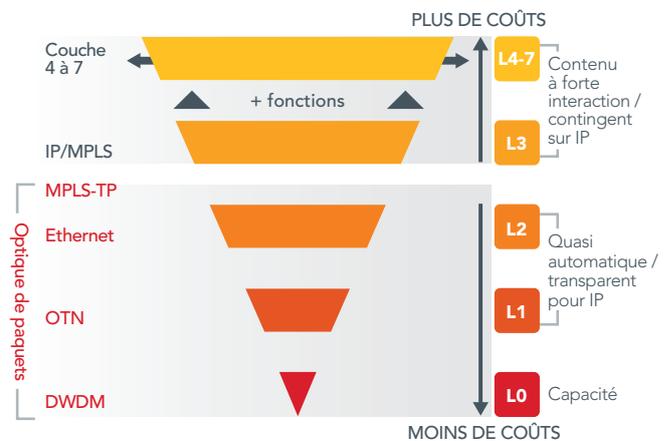


Figure 2. La technologie optique par paquets fonctionne sur les couches 0 à 2,5 pour traiter de façon rentable de multiples types de trafic réseau

Un autre avantage de ces couches plus basses est de fournir un transport de paquets orientés connexion plutôt que le transport sans connexion du protocole IP. Un transport orienté connexion, qu'il utilise des longueurs d'onde, des connexions OTN ou des tunnels Ethernet, a des caractéristiques déterministes pour attribuer la bande passante, les trajets sur le réseau et les paramètres de bout en bout. Une telle architecture conduit à des opérations de transport par paquets beaucoup plus simples et plus prévisibles, surtout en ingénierie du trafic, entretien et dépannage.

En utilisant les couches réseau plus basses, des solutions sur mesure peuvent être créées pour différents scénarios

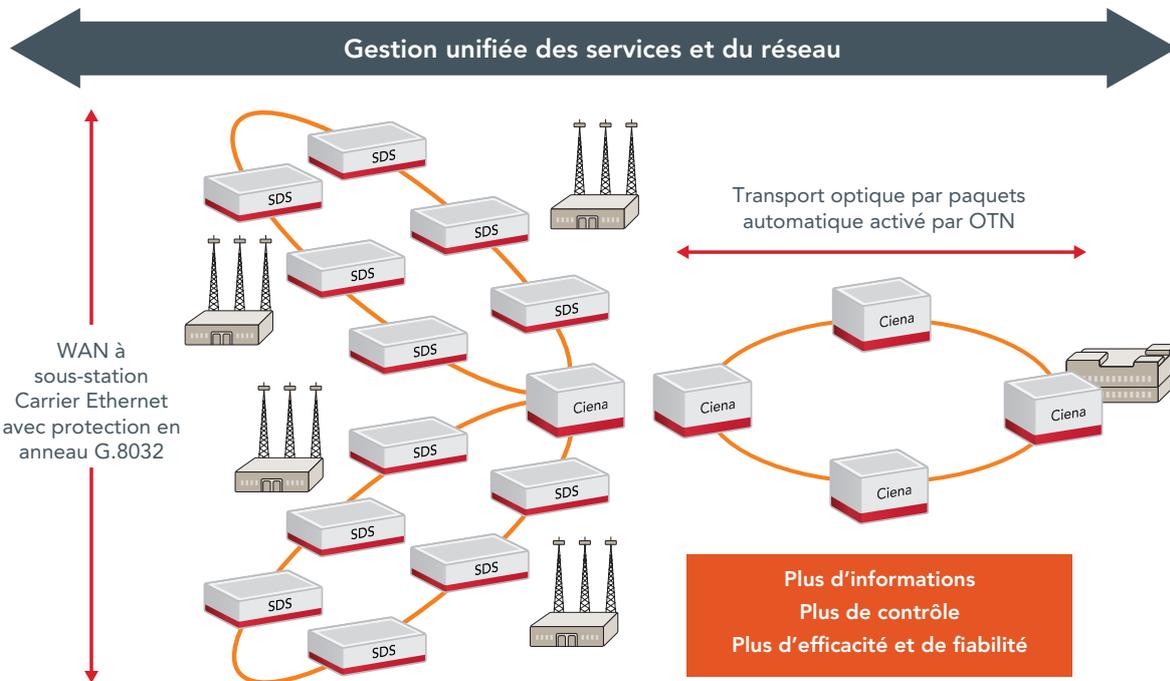


Figure 3. Architecture d'un réseau d'agrégation en sous-stations, sur Carrier Ethernet, qui interagit avec un réseau à noyau de transport par paquets reposant sur OTN

d'exploitation. Par exemple, un scénario maintient une séparation entre les couches et déploie des anneaux de sous-station Carrier Ethernet en couche 2 uniquement, comme l'illustre la figure 3. Ce scénario utilise également un réseau à noyau optique par paquets convergent qui transporte le trafic Ethernet des sous-stations et celui d'autres protocoles, comme les données de stockage Fibre Channel, entre les Data Centers d'une compagnie électrique.

Un autre scénario étend le réseau optique convergent de paquets aux sous-stations pour transporter le trafic IP et Ethernet de paquets avec les circuits TDM (Time Division Multiplexing) hérités. Dans les deux cas, l'approche associant la technologie optique de paquets permet au réseau d'être conçu pour agréger et commuter le trafic sur la couche la plus efficace et la plus économique sur les réseaux du noyau et en sous-stations.

Comprendre la bande passante optique programmable avec OTN

OTN est une technologie de transport optique très polyvalente qui peut remplacer les réseaux limités et coûteux du transport SDH/SONET. En tant que technologie de couche 1, OTN gère de multiples services sur des systèmes de transport optique de manière efficace, économique et fiable. Elle crée un moyen d'isoler le réseau contre les besoins changeants du trafic grâce à des options de bande passante programmable.

OTN fournit trois fonctions essentielles à la programmation de la bande passante sur la couche WDM : le réseau dispose de conteneurs capables de transporter tous les protocoles ; il permet un partage efficace des longueurs d'onde et il permet une commutation et un groupage du trafic à travers le réseau. Réunies, ces fonctions rendent la bande passante d'une couche WDM plus programmable en termes de format, de taille, de routage des différents types de trafic.

SDH/SONET et OTN font le mappage des protocoles sur les conteneurs de trafic. Sur un réseau SDH/SONET, ces conteneurs ont tous la même taille mais ne sont pas toujours remplis par des données, ce qui rend ce système de transport inefficace.

Sur un réseau OTN, ces conteneurs peuvent transporter n'importe quel protocole de données, dans n'importe quelle combinaison, et ces conteneurs peuvent avoir une taille adaptée aux exigences spécifiques du trafic et du transport, comme le montre la figure 4. Cette capacité programmable du réseau OTN se traduit par une efficacité globale du réseau, ce qui signifie qu'OTN peut assurer des bandes passantes très élevées tandis que les réseaux des compagnies électriques évoluent pour desservir la croissance des données.

OTN prend aussi en charge une séparation simple et sécurisée entre le trafic des opérations critiques au réseau électrique et le trafic informatique et lié à l'entreprise quand ils sont acheminés sur le même réseau de fibre.

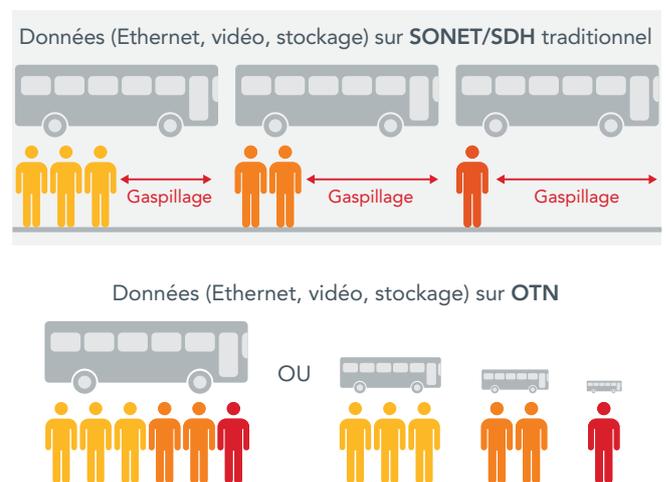


Figure 4. La capacité programmable OTN permet d'utiliser beaucoup plus efficacement la bande passante du réseau

Comprendre le Carrier Ethernet

Le Carrier Ethernet est une technologie de communications en couche 2 sur un réseau optique par paquets. Il apporte tous les avantages d'un réseau local (LAN) sur Ethernet (omniprésent, extrêmement économique, simple, rapide, fiable) au réseau étendu (WAN) exigeant. Il offre aussi une fiabilité, une capacité de gestion et des caractéristiques prévisibles comparables à celles des solutions réseau habituelles d'une compagnie électrique.

Le Carrier Ethernet est défini par cinq attributs techniques remarquables qui le distinguent de l'Ethernet LAN : des services normalisés, une extensibilité, une fiabilité, une qualité des services (QoS) et une gestion des services. Ces attributs ressemblent au rôle joué par Ethernet au sein du LAN mais ils transforment le Carrier Ethernet en une technologie adaptée à un déploiement sur un WAN. De plus, tout comme Ethernet fonctionne avec IP sur le LAN d'entreprise, le Carrier Ethernet fonctionne avec IP sur le WAN.

Le Carrier Ethernet est une évolution économique du TDM sur les réseaux de distribution et en sous-stations parce qu'il prend en charges les applications IP et les nouveaux appareils IED sur Ethernet. Il évite aussi les préoccupations liées à la sécurité et au délai de transit d'une couche 3.

Pour toutes ces raisons, les compagnies électriques sont attirées par le Carrier Ethernet pour contrôler leurs coûts et assurer aux processus commerciaux de pouvoir s'étendre efficacement, tout en maintenant la sécurité et le contrôle sur des fonctions opérationnelles et informatiques critiques.

Avantages d'un réseau optique par paquets

Rassembler la technologie optique et celle des paquets apporte deux principaux avantages. Tout d'abord, les données basées sur IP, Ethernet et TDM plus ancien peuvent coexister sur le même réseau WDM optique. En plus, les technologies optiques de paquets améliorent l'efficacité du réseau à travers certains attributs, tels que l'agrégation des paquets, la QoS et une utilisation efficace de la bande passante.

La technologie optique de paquets garde plusieurs avantages des services de transport hérité, notamment un environnement familier du fonctionnement et de la gestion, des performances déterministes, la tolérance, une haute disponibilité et un faible délai de transit. Ces avantages sont renforcés par des attributs d'efficacité fondamentaux de la technologie des paquets, notamment des coûts faibles, la prise en charge de services multiples, une bande passante efficace et flexible et des paramètres QoS.

La technologie optique de paquets assure la jonction entre les réseaux SDH/SONET hérités et les réseaux OTN/Carrier Ethernet nouvelle génération en prenant en charge de façon efficace toute combinaison de trafics sans bloquer les investissements. Les compagnies électriques peuvent faire la transition du mélange de trafics au cours du temps, simplement en arrêtant d'utiliser les circuits hérités et en augmentant l'utilisation des services sur Ethernet.

En plus des bénéfices généraux, relatifs au réseau optique par paquets, la technologie Carrier Ethernet offre plusieurs avantages déterminants à une compagnie électrique et à ses communications sur son réseau électrique intelligent :

- **Simplicité.** Le Carrier Ethernet est facile à déployer avec un dimensionnement automatisé avec des tests et vérification à distance de la mise en service. La détection des défaillances et leur isolation peuvent s'effectuer à distance et les modifications sont plus simples à faire. La gestion et l'entretien du réseau exercent ainsi moins de pression sur les équipes d'exploitation du réseau de la compagnie électrique.
- **Réduction des coûts.** Le Carrier Ethernet permet la convergence de tous les services de communication sur une infrastructure de réseau commune, ce qui simplifie énormément les opérations et permet de contrôler les coûts.
- **Amélioration de la sécurité et du contrôle du réseau.** Une couche de sécurité intrinsèque est construite sur le Carrier Ethernet parce qu'il ne s'agit pas d'un protocole pouvant être routé, ainsi faire face à l'espionnage n'est pas un problème. En utilisant une encapsulation des données sur Ethernet, les compagnies électriques peuvent assurer un acheminement du trafic à bon port.
- **Flexibilité et extensibilité de la bande passante.** Contrairement aux technologies TDM qui sont basées sur des incréments fixes de la bande passante, Ethernet a une évolutivité très granulaire qui permet des ajustements dynamiques des exigences de la capacité sur la base de chaque site.
- **Outils OAM (Operations, Administration, Maintenance) de pointe.** Le Carrier Ethernet prend en charge un ensemble très fourni d'outils OAM normalisés qui fournissent des capacités avancées pour la surveillance et la gestion du réseau. Ces outils donnent aux compagnies électriques une visibilité nettement meilleure sur l'état et les performances de leurs connexions réseau.
- **Faible délai de transit.** Les applications d'automatisation du réseau électrique et des sous-stations nécessitent un délai de transit particulièrement bas, de l'ordre de quelques millisecondes. Cette haute sensibilité au délai de transit représente un des principaux défis auxquels sont confrontés les réseaux MPLS sur IP, qui sont affectés par la gigue, la congestion, la perte des paquets et les retransmissions. En revanche, la connectivité Carrier Ethernet peut être conçue de façon très déterministe. Son faible délai de transit fait également du Carrier Ethernet une option viable pour les protocoles sensibles au temps qui sont utilisés dans les applications stratégiques comme la protection à distance.
- **Flux de trafic déterministes.** Le Carrier Ethernet permet l'ingénierie du trafic, ce qui assure à un flux de paquets un trajet spécifique à travers le réseau. Ces trajets de liaison, de même que les itinéraires de rechange, peuvent être planifiés pour assurer une tolérance de la transmission avec des basculements inférieurs à 50 millisecondes.
- **Une transparence des protocoles.** Contrairement aux services VPN (Virtual Private Network) sur IP, les VPN sur Ethernet peuvent prendre en charge tous les protocoles d'applications hérités qui sont encore utilisés par une compagnie électrique. Cette prise en charge est effectuée à travers un simple mappage du trafic dans les cadres de couches 2 qui traversent en toute transparence le réseau, sans conversions ni traitement supplémentaires.

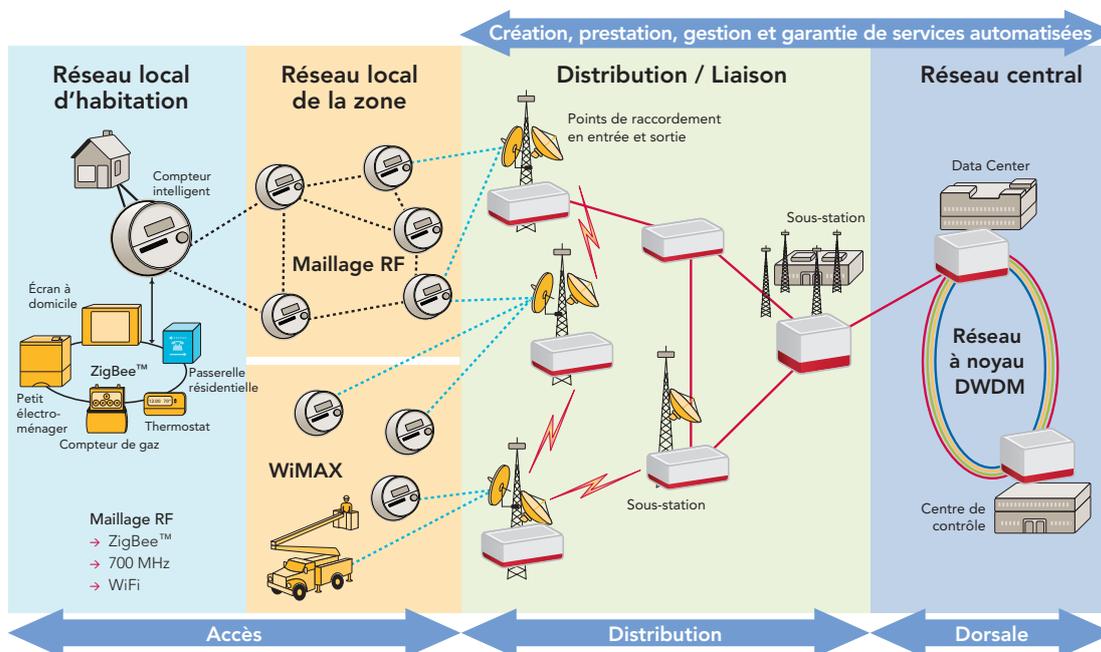


Figure 5. Architecture de référence pour un réseau optique de paquets soutenant des communications sur un réseau intelligent

Architecture optique par paquets de référence pour des communications sur un réseau électrique intelligent

La figure 5 présente l'architecture de référence du réseau optique par paquets de Ciena pour les communications sur un réseau électrique intelligent de bout en bout, divisé sur quatre domaines distincts du réseau.

Le domaine du réseau local d'habitation utilise un réseau filaire ou sans fil au domicile du client pour transférer les informations entre le réseau électrique et les appareils du client, comme des écrans, des ordinateurs, des appareils de gestion de l'énergie et des compteurs intelligents.

Le domaine du réseau local de la zone prend en charge l'acheminement bidirectionnel des informations entre les compteurs intelligents et les points de raccordement en entrée et sortie. Ce réseau peut être filaire ou sans fil et peut appartenir à la compagnie ou à un prestataire de services tiers.

Les deux autres domaines, le réseau de liaison et le réseau central, couvrent l'essentiel des systèmes stratégiques de transmission, de distribution et de contrôle du réseau électrique. Ces domaines ont des exigences beaucoup plus strictes vis à vis du réseau, notamment une haute disponibilité, une forte extensibilité, un faible délai de transit, interopérabilité et sécurité.

Le réseau de liaison connecte tous les points de raccordement d'entrée des données pour la compagnie électrique – par exemple la récupération des données au niveau des compteurs intelligents, leur transmission et distribution aux sous-stations – vers le centre de contrôle opérationnel. Ce réseau utilise généralement un mélange de fibre à haute capacité, des communications micro-ondes sans fil et des circuits télécoms loués.

Le réseau du noyau dorsal contient les nœuds à haute capacité qui relient les centres de contrôle de la compagnie électriques, ses Data Centers et les réseaux de distribution en sous-stations. Ce réseau est généralement basé sur une

topologie en anneau ou maillée qui permet tout type de connexions entre tous les appareils.

Ces réseaux de liaison et du noyau prennent en charge les opérations essentielles du réseau électrique comme les systèmes de surveillance et de contrôle SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Ces réseaux relient aussi les équipements situés sur le terrain pour une distribution automatisée de l'énergie, notamment les unités de télémetrie à distance (RTU) et les appareils IED, tels que les disjoncteurs, reconnecteurs, commutateurs, condensateurs et transformateurs qui permettent une surveillance ou un contrôle à distance.

Migration des infrastructures héritées vers des sous-stations automatisées

L'automatisation des sous-stations est un élément fondamental pour transformer l'infrastructure d'une compagnie électrique en un réseau électrique intelligent. La norme 61850 de la Commission électrotechnique internationale (CEI) spécifie les exigences du réseau pour prendre en charge les données et les applications de l'automatisation en sous-station. En principe, cette norme conduira à une infrastructure plus simple et plus unifiée sur le réseau des sous-stations, reposant sur Ethernet, avec une réduction des coûts et une meilleure fiabilité.

Cependant, l'étape de migration d'une sous-station héritée à une sous-station nouvelle génération selon la norme CEI 61850 est délicate. De nombreuses compagnies électriques ne se sont pas complètement engagées en faveur de cette norme en raison de leur besoin de continuer à prendre en charge des interfaces TDM héritées sur les équipements non compatibles à la norme CEI 61850.

Il est important de comprendre que la migration vers la norme CEI 61850 n'exige pas de remplacer les protocoles déjà en place. Des solutions permettant à certaines parties de la norme CEI 61850 d'être ajoutées sur le réseau peuvent être mises en œuvre tout en continuant à utiliser des protocoles hérités. Avec un plan correct, les compagnies électriques

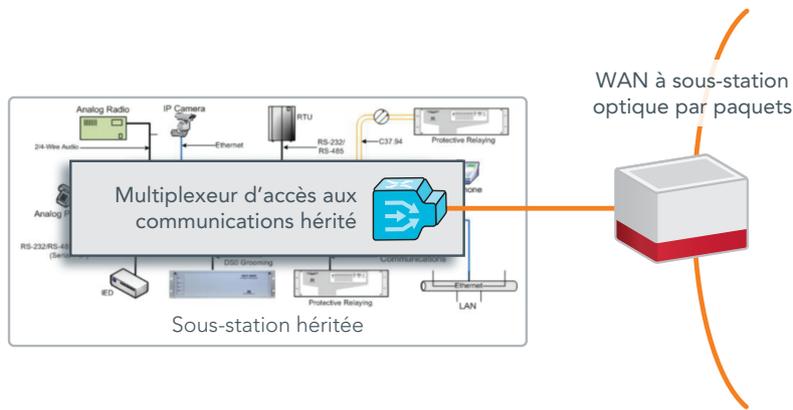


Figure 6. Les réseaux optiques par paquets permettent de transporter des données convergentes entre les sous-stations et les centres de contrôle, et en leur sein

peuvent se moderniser à leur propre rythme, en utilisant des communications optiques par paquets comme technologies de jonction entre les protocoles hérités et par paquets.

La figure 6 présente une approche pour relever le défi de la migration des équipements hérités. Pour les sous-stations, le réseau doit prendre en charge une liste potentiellement longue de protocoles hérités et installés, en plus des appareils IP/Ethernet plus récents. Les compagnies électriques peuvent planifier de remplacer leurs appareils SCADA hérités avec des IED Ethernet modernes.

Dans cet exemple, un multiplexeur dédié en sous-station est utilisé pour agréger les interfaces TDM et en série à faible débit, puis pour remettre une interface LAN Ethernet au réseau de liaison de paquets. À ce point, les capacités du réseau optique par paquets permettent un transport convergent des données, gérable et tolérant entre les sous-stations et les centres de contrôle.

Un modèle plus futé pour les communications sur réseau électrique intelligent

Ciena propose une approche plus futée pour moderniser le réseau électrique par une alternative économique, gérable et robuste aux réseaux SDH/SONET et IP/MPLS par routeurs. Bien que les architectures optiques par paquets peuvent paraître nouvelles au secteur des compagnies électriques, ces technologies ont fait leurs preuves sur des réseaux filaires et sans fil exigeants dans le monde entier. Les réseaux optiques par paquets offrent aux compagnies électriques les avantages d'une réduction des investissements et des coûts d'exploitation, d'un comportement plus déterministe et des bénéfices prévisibles de nombreux services réseau.

À plus long terme, les solutions de Ciena prennent en charge des mises à niveau naturelles vers une bande passante de 1G à 10G et 100G. Cette évolutivité simplifiée deviendra de plus en plus importante à mesure que les informations deviendront la pierre angulaire de la transformation opérationnelle et commerciale des compagnies électriques.

Grâce aux éléments de construction Ciena concernant la technologie Carrier Ethernet, DWDM et OTN, ainsi que leur gestion unifiée, les compagnies électriques peuvent concevoir sur mesure l'évolution de leurs réseaux vers n'importe quel paradigme opérationnel de réseau électrique intelligent.

Velco déploie un réseau optique par paquets à l'échelle d'un état

Velco est une compagnie électrique desservant l'ensemble du Vermont et qui gère un système de distribution électrique couvrant 1 000 km entre 20 fournisseurs électriques à travers l'état. L'environnement réseau de cette compagnie électrique était basé sur une infrastructure héritée de fibre SONET OC-48 et de lignes T1 louées reliant les sous-stations. Une variété de dispositifs était utilisée dans les sous-stations pour multiplexer les services hérités, comme les systèmes téléphoniques TDM, l'analogique pour traiter la voix et les appareils RTU et SCADA.

Pour son réseau nouvelle génération, Velco utilise une solution réseau optique par paquets fournie par IBM et Ciena, à l'échelle de l'état. Ce réseau fournit une réduction des coûts d'exploitation associée à une augmentation des performances, de l'évolutivité et de l'interopérabilité avec toutes les compagnies électriques de distribution associées à Velco. Le nouveau réseau permet aussi à Velco de prendre en charge les besoins opérationnels actuels comme le trafic de relais, SCADA, la voix et les données d'entreprise et une infrastructure de compteurs de pointe. À mesure que cette compagnie électrique met en place ces nouveaux programmes de réseau électrique intelligent, elle peut gérer ce nouveau réseau avec un personnel relativement réduit.

Ciena est susceptible d'apporter des modifications aux produits ou aux spécifications mentionnés dans le présent document, sans avis préalable. Copyright © 2014 Ciena® Corporation. Tous droits réservés. WP159_fr_FR 9.2014