

Architecture des réseaux d'entreprise

Les entreprises s'échelonnent d'une taille limitée à quelques postes de travail connectés sur un même réseau local à des infrastructures internationales permettant à des milliers de postes de travail de communiquer. Une autre façon de classer les réseaux d'entreprise consiste à les mesurer en terme de sites à interconnecter.

Ce chapitre commence par examiner le cas de l'intégration des services dans un réseau d'entreprise avant d'étudier les réseaux d'entreprise à un seul site puis les réseaux d'entreprise multisites. Nous nous intéressons dans un premier temps à l'intégration dans le réseau d'entreprise de la parole téléphonique et des données informatiques.

L'intégration voix-données

Dans un réseau d'entreprise, il faut transporter la parole téléphonique et les données jusqu'au poste terminal de l'utilisateur. D'une façon générale, deux réseaux différents sont mis en œuvre pour cela, comme l'illustre la figure 24.1. Dans cette figure, un réseau téléphonique formé de combinés téléphoniques est raccordé à un PBX (Private Branch eXchange), ou autocommutateur privé. Le second réseau prend en charge les terminaux informatiques. Parfois, un troisième réseau vient se joindre au deux premiers pour le transport d'images animées, comme un réseau de télésurveillance ou un réseau de distribution de télévision.

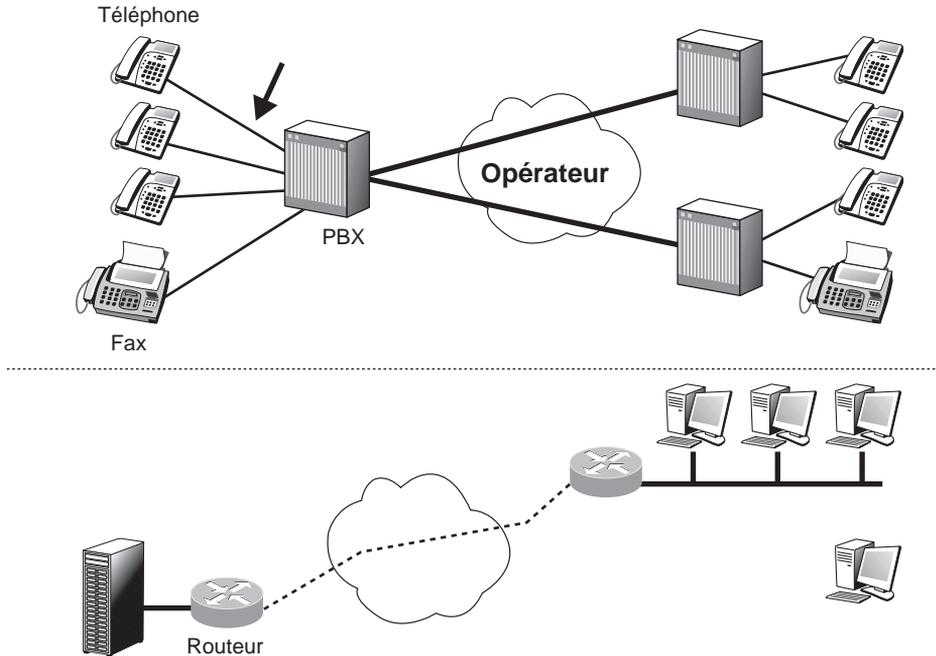


Figure 24.1

Coexistence de deux réseaux d'entreprise

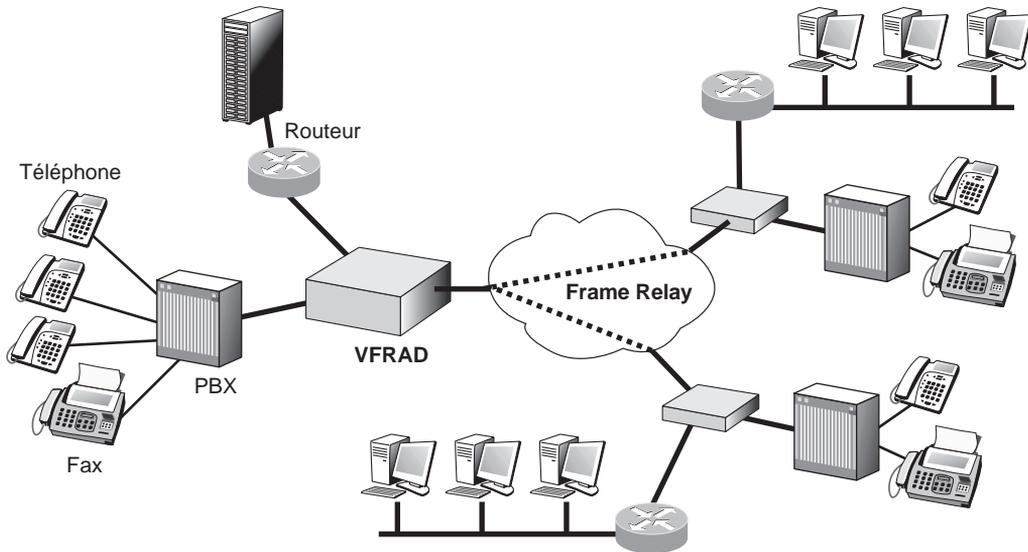
Parmi les nombreuses solutions permettant l'intégration de la voix et des données, nous allons examiner les quatre suivantes :

- intégration de la voix dans le relais de trames ;
- intégration dans un tout-IP ;
- solution hybride ;
- négociation d'un SLA avec un opérateur.

L'intégration de la parole téléphonique dans un réseau relais de trames est fortement utilisée depuis une dizaine d'années. Elle reste une solution simple et peu onéreuse, même si de nouvelles solutions plus puissantes sont apparues depuis le début des années 2000.

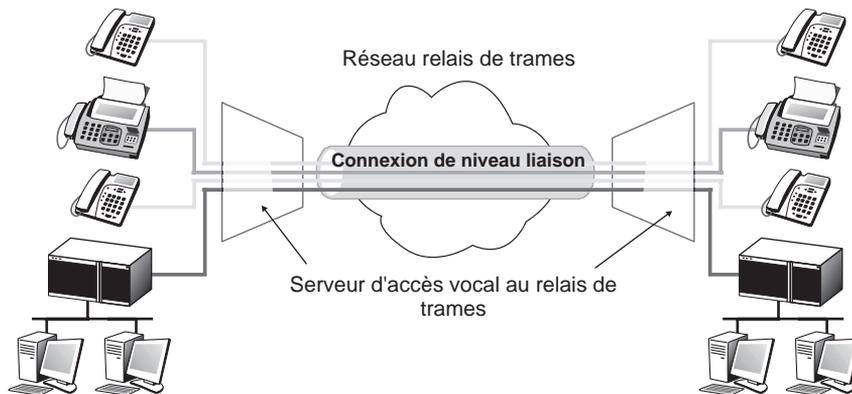
La figure 24.2 illustre l'intégration de la voix et des données par l'intermédiaire d'un VFRAD (Voice Frame Relay Access Device), un équipement capable de remplir des trames LAP-F dans un réseau en relais de trames.

Un VFRAD est un équipement qui permet d'encapsuler dans des trames LAP-F du relais de trames des octets de parole téléphonique et de les multiplexer sur une même liaison virtuelle, qui n'est autre qu'un circuit virtuel de niveau 2 tel que défini dans le relais de trames. Dans cette architecture, il faut autant de VFRAD que d'accès au réseau pour relier les différents sites entre eux. L'intégration n'a lieu que sur le réseau relais de trames, où une même liaison virtuelle permet de transporter les trames de parole et de données. La parole téléphonique peut être restituée à l'arrivée car le relais de trames comporte une option qui garantit le délai de transit dans le réseau.

**Figure 24.2**

Intégration voix-données par un VFRAD

Avec cette option, le transport de voix utilise une compression de la parole téléphonique à un taux pouvant atteindre 8 Kbit/s. Divers algorithmes de compression sont disponibles. Ils sont détaillés au chapitre 35, consacré à la parole téléphonique en paquets. La figure 24.3 illustre l'intégration des différentes applications dans cette solution.

**Figure 24.3**

Intégration voix-données dans le relais de trames

Cette solution, normalisée en décembre 1998 par le FRF (Frame Relay Forum), met en œuvre un mécanisme simple de point-à-point utilisant un circuit virtuel. La figure 24.4 montre l'encapsulation de plusieurs voix de parole dans une trame suivie d'une trame de données.

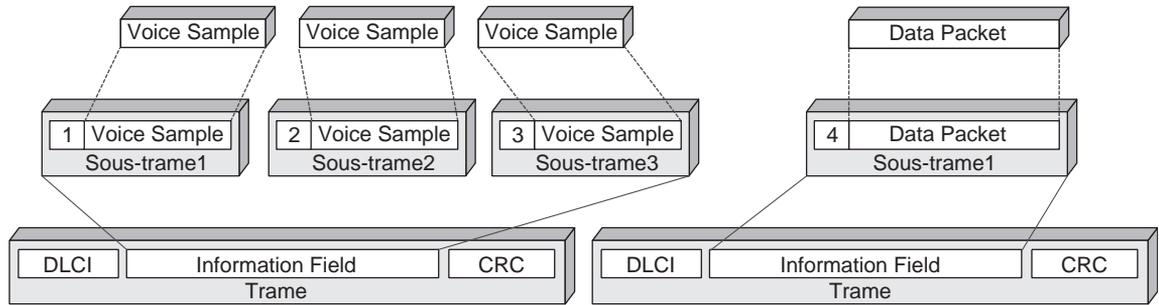


Figure 24.4

Intégration voix-données au niveau trame

La deuxième solution que nous allons étudier est celle de l'intégration dans un même environnement IP de la parole téléphonique provenant de combinés analogiques et des données émises par les terminaux informatiques. Cette solution est décrite à la figure 24.5. Les combinés téléphoniques analogiques sont reliés à un PBX-IP, c'est-à-dire à un autocommutateur privé capable de générer en sortie des paquets IP transportant les octets de parole téléphonique numérisée. Le PBX-IP gère également la supervision en transformant la signalisation téléphonique classique CCITT n° 7 (*voir le chapitre 31*) en une signalisation capable de traverser le monde IP, comme H.323 ou SIP (*voir les chapitres 31 et 36*) et *vice versa*.

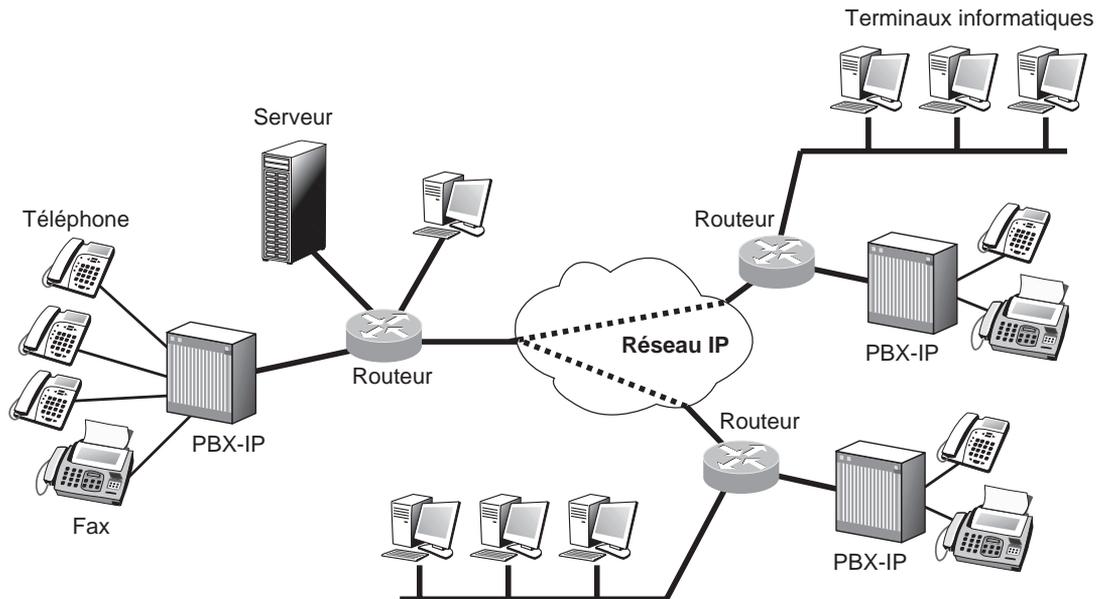


Figure 24.5

Intégration voix-données dans une architecture IP

Dans cette solution, les paquets IP sont encapsulés, au niveau des serveurs et des stations de travail IP, dans des trames Ethernet, lesquelles sont transmises sur un réseau Ethernet jusqu'au routeur de sortie de l'entreprise. Après décapsulation de la trame Ethernet, les paquets IP sont intégrés dans une trame LAP-F du relais de trames pour être acheminés vers le routeur situé de l'autre côté du réseau. Dans ce routeur, la trame LAP-F est de nouveau décapsulée afin de retrouver le paquet IP et d'insérer ce dernier dans une trame Ethernet. Cette trame est acheminée vers le terminal informatique ou vers le PBX-IP.

Le réseau intersite peut être un relais de trames, un réseau IP d'opérateur ou un réseau IP privé de l'entreprise. Le réseau de l'opérateur peut s'appuyer sur des techniques diverses, comme ATM ou MPLS. Dans tous les cas, pour garantir la qualité de service nécessaire à la parole téléphonique, il faut que le réseau intersite soit capable de garantir un temps de transit au travers du réseau. Cette garantie est négociée avec l'opérateur du réseau, opérateur de télécommunications ou gestionnaire du réseau de l'entreprise, de façon que les performances soient compatibles avec la qualité attendue par l'utilisateur. Pour cela, un SLA (Service Level Agreement) est négocié avec l'opérateur du réseau, afin de préciser le temps maximal de transfert à l'intérieur du réseau.

Dans cette solution, le réseau d'entreprise global doit posséder un réseau sur chaque site de l'entreprise et un réseau intersite, tous individuellement capables d'assurer une qualité de service, et donc des temps de traversée bornés. On peut en déduire que le temps de transit d'un équipement terminal à un autre est borné. Ce temps doit rester inférieur à 200 voire 250 ms pour une application de téléphonie. Pour cela, le réseau doit faire appel à des techniques de priorité permettant aux paquets prioritaires de voir le système comme étant quasiment vide. Il faut donc un surdimensionnement du réseau de site par rapport à la somme des débits des différentes voix téléphoniques. Cela n'est généralement pas compliqué à obtenir avec des commutateurs Ethernet qui gèrent les trois bits de priorité IEEE 802.3q et un réseau d'un débit égal à 100 Mbit/s.

Il faut en outre modifier les PBX en PBX-IP de façon que les octets de parole puissent être encapsulés dans des paquets IP. Une autre solution, allant jusqu'au bout de l'intégration dans IP, consiste à avoir des téléphones IP capables de générer directement des paquets IP, de telle sorte qu'il n'y ait plus besoin de PBX-IP. Dans ce cas, un serveur de supervision prend en charge la signalisation afin de permettre, entre autre, de faire sonner le téléphone distant. Nous examinons plus en détail ces téléphones IP au chapitre 35, dédié à la téléphonie informatique. La figure 24.6 illustre cette solution d'intégration du réseau d'entreprise dans un environnement complètement IP.

Les avantages de cette solution proviennent du vrai multiplexage IP et de l'intégration de bout en bout des applications voix et données. Ce très haut degré d'intégration rendra à moyen terme cette solution moins chère. À long terme, les coûts devraient encore baisser grâce à l'arrivée en grand nombre d'opérateurs IP proposant des SLA.

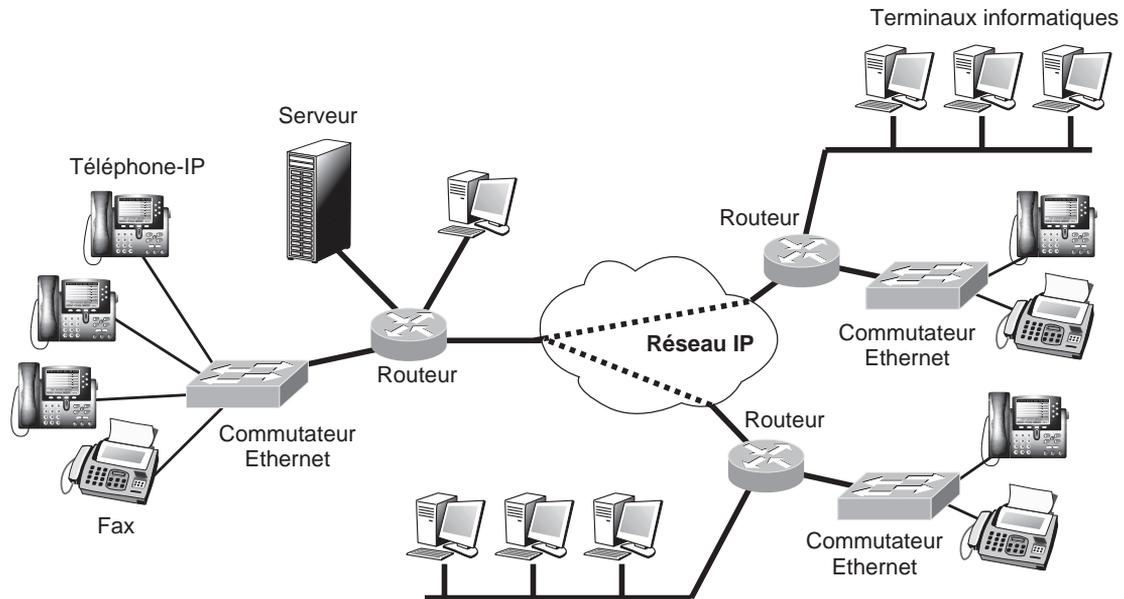


Figure 24.6

Intégration voix-données dans réseau d'entreprise tout-IP

Parmi les inconvénients de cette technique, citons notamment :

- la mutation des équipements à mettre en œuvre à relativement long terme ;
- le coût assez élevé des téléphones IP ;
- la relative incompatibilité entre équipementiers des algorithmes de gestion de la qualité de service.

De nombreuses solutions intermédiaires, comme celle illustrée à la figure 24.7, permettent à l'entreprise de passer doucement d'un environnement non intégré à un environnement intégré. Dans cette figure, le PBX est découpé en plusieurs parties, des PBX-IP et des PBX non-IP. Les PBX-IP produisant les paquets IP sont raccordés aux routeurs, et les octets téléphoniques transitent par la partie IP du VFRAD. Les PBX numériques classiques intègrent pour leur part leurs octets téléphoniques directement dans une trame LAP-F du relais de trames.

Les inconvénients de cette transition sont les suivants :

- nécessité d'avoir des équipements voix sur IP dans l'ensemble des sites de façon à pouvoir récupérer les communications IP pour les envoyer vers des PBX classiques ;
- investissement dans des FRAD intégrant la voix sur IP, c'est-à-dire des routeurs spécifiques relativement chers par rapport aux routeurs tout-IP.

Cette tendance à l'intégration est inéluctable. Vers les années 2010, toutes les entreprises auront intégré sur un même réseau la téléphonie et les données, ainsi que la vidéo. La vidéo génère en effet un flot de paquets synchrones, mais avec des contraintes temporelles moins fortes. Elle s'intégrera au réseau de l'entreprise dès que les interfaces d'accès et les réseaux internes seront suffisamment puissants.

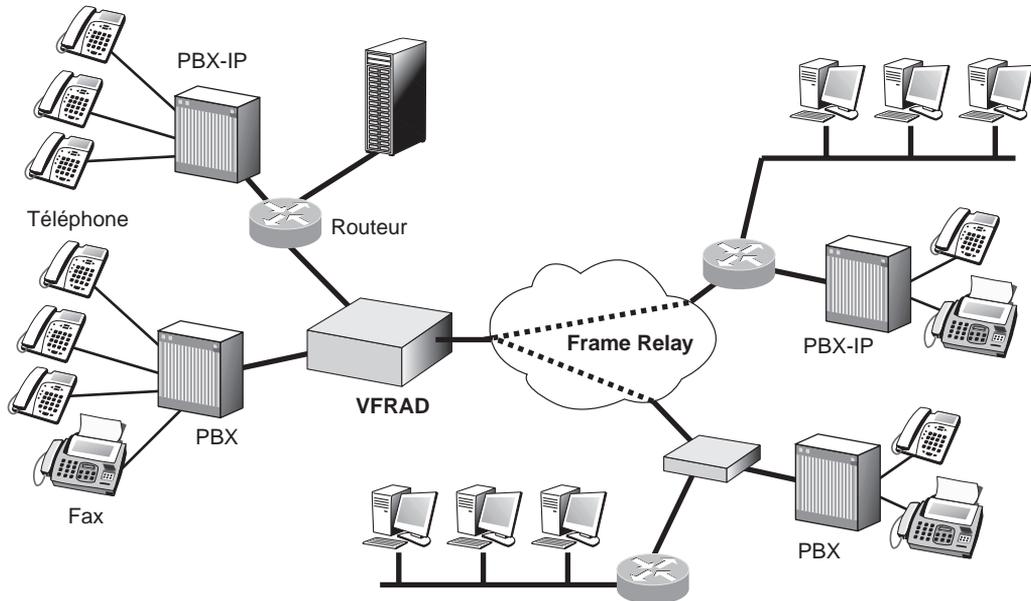


Figure 24.7

Passage d'un environnement non intégré à un environnement intégré

Les entreprises monosites

Dans les petites entreprises, un réseau local, ou LAN, permet aux différents postes de travail de s'échanger de l'information et de se connecter vers l'extérieur. Ce réseau local possède une passerelle permettant aux utilisateurs du réseau d'entreprise de se connecter vers l'extérieur et de recevoir de l'information. Un exemple de réseau d'entreprise monosite est illustré à la figure 24.8.

Dans cette figure, le réseau de l'entreprise est constitué d'un ensemble de réseaux Ethernet commutés de sorte à avoir une duplication des chemins vers les routeurs centraux. Ces derniers redistribuent les paquets vers la périphérie ou envoient les paquets vers l'extérieur de l'entreprise par l'intermédiaire d'un pare-feu. De plus en plus, les réseaux employés dans l'entreprise sont des réseaux commutés et non plus partagés. La raison de cette mutation tient à l'intégration de la téléphonie, qui nécessite une qualité de service qu'il est impossible de garantir dans les réseaux partagés.

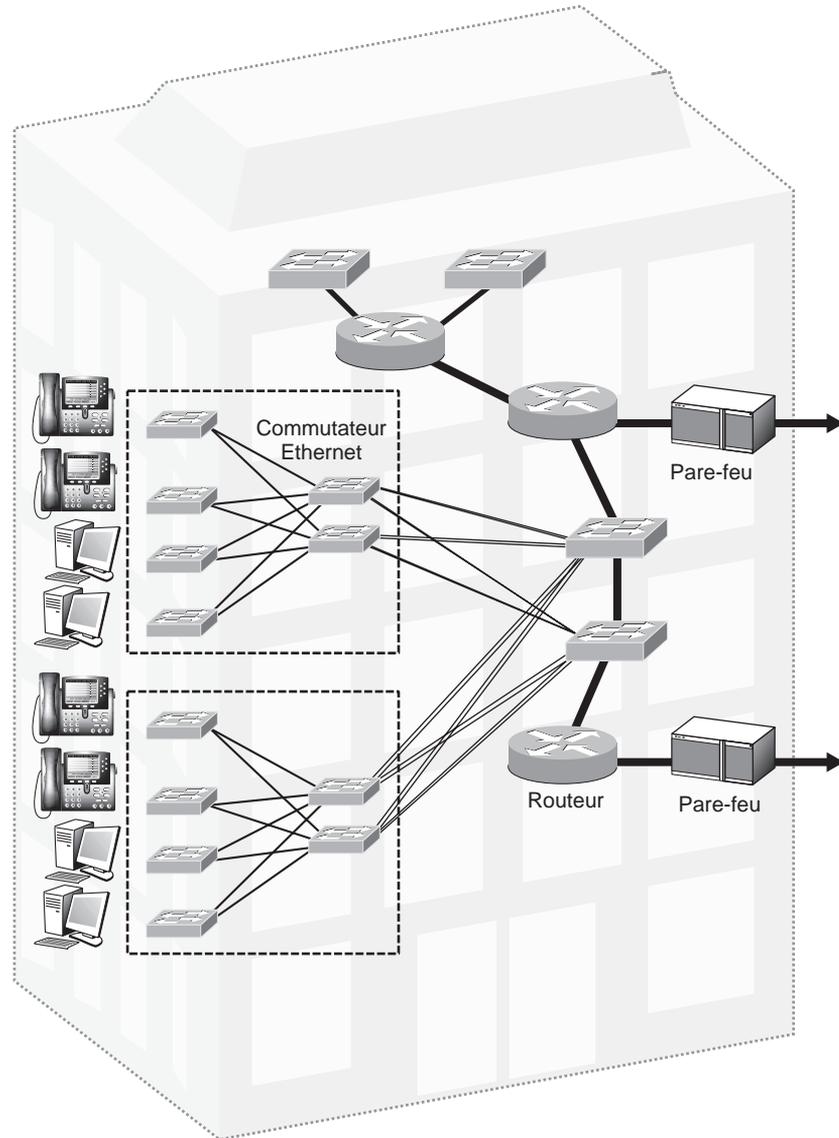
Les réseaux locaux étant aujourd'hui essentiellement de type Ethernet, nous renvoyons le lecteur au chapitre 16, dédié à Ethernet. Le chapitre 27 détaille pour sa part les passerelles et pare-feu. La section suivante examine le réseau local Token-Ring, encore bien implanté dans les entreprises, même si son importance ne cesse de décroître.

Token-Ring et les réseaux à jeton

Au cours des années 80, les réseaux locaux ont connu un énorme développement. Ethernet et Token-Ring sont les deux normes qui ont quasiment occupé tout ce marché.

Figure 24.8

Réseau d'entreprise
monosite



La première a été proposée par le triumvirat DEC, Intel et Xerox, relayé par une grande partie des constructeurs informatiques, tandis que la seconde est l'apanage d'IBM. Bien que les réseaux Token-Ring ne soient quasiment plus implémentés aujourd'hui, les implémentations existantes sont encore assez nombreuses et méritent que nous nous penchions brièvement sur leur fonctionnement.

Nous commençons par détailler la norme de base, IEEE 802.5, choisie au départ par IBM pour son réseau local Token-Ring à 4 Mbit/s, puis abordons les extensions à 16 puis 100 Mbit/s. La version à 100 Mbit/s est appelée HSTR (High-Speed Token-Ring). Le réseau Cambridge normalisé par le groupe IEEE 802.7 est ensuite présenté de façon à conserver cette norme en mémoire, bien qu'il n'y ait plus aujourd'hui de produit commercialisé selon cette technologie.

L'anneau à 4 Mbit/s

Dans un réseau Token-Ring à 4 Mbit/s, chaque station est connectée à l'anneau par deux circuits, un pour l'émission et un pour la réception. Un jeton libre parcourt l'anneau dès qu'une station est mise en route puis est capté par la station qui veut émettre. Celle-ci le transforme en une trame, qu'elle transmet sur le support physique en régénérant le signal électrique. La figure 24.9 illustre cette technique d'accès.

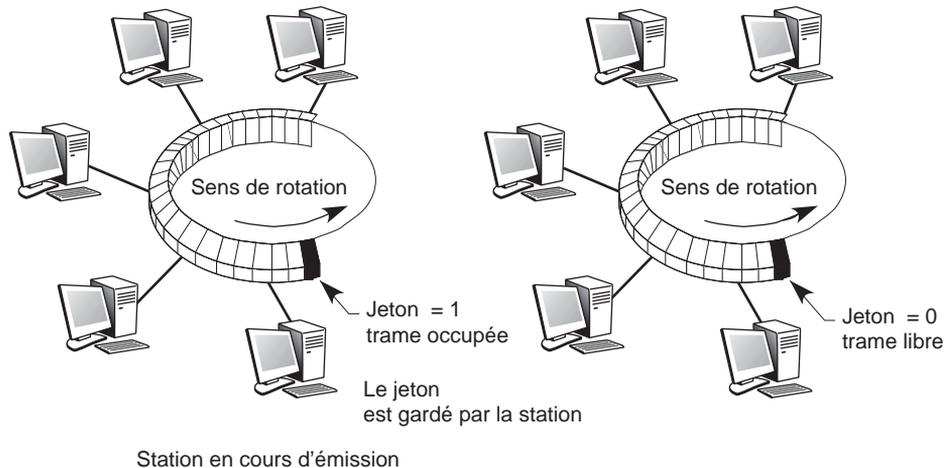


Figure 24.9

Technique d'accès IEEE 802.5

Le destinataire copie la trame au passage et émet un acquittement pour indiquer qu'il a bien reçu le message.

Le comportement de l'émetteur se déroule en quatre phases :

1. Reconnaissance de sa trame.
2. Constatation que le destinataire a bien reçu le message.
3. Destruction de sa trame.
4. Réémission d'un jeton libre.

On peut constater que le jeton n'est de nouveau libre qu'après un tour de la boucle, lorsqu'il repasse devant l'émetteur. Cette solution est acceptable, car le temps de propagation est relativement négligeable par rapport au temps d'émission. Pour des vitesses supérieures à 4 Mbit/s, cette hypothèse n'est plus vraie, et la technique d'accès pour l'anneau à jeton à 16 Mbit/s puis par la suite à 100 Mbit/s est complètement différente.

Des priorités peuvent modifier la prise de jeton. Il faut que la station désirant capter le jeton possède un niveau de priorité suffisant. Si ce n'est pas le cas, la station concernée effectue une réservation dans la trame en cours, avec sa propre priorité. Le jeton libre est réémis avec cette priorité. Il existe au total 8 niveaux de priorité.

Le Token-Ring comporte également une fonction moniteur, qui a pour rôle de détecter et corriger les erreurs, telles que :

- Erreurs temporaires : perte de jeton ou de trame, jeton prioritaire non retiré, etc. Dans de telles situations, plus personne ne peut émettre. Chaque station peut corriger, mais

une seule, le moniteur actif, peut, à un instant donné, réémettre un jeton. La fonction moniteur peut être assurée par n'importe quelle station du réseau. En pratique, cette charge est assurée par la première station qui se connecte sur l'anneau ou par la station qui a l'adresse la plus haute. La station moniteur doit se signaler aux autres stations.

- Erreurs permanentes : coupure de câbles. Dans ce type de situation, les deux stations incriminées se retirent et s'autotestent. La station défaillante est automatiquement retirée du réseau. Si le problème est dû au câble, il y a notification de l'incident au programme de gestion du réseau.

L'adresse de la carte coupleur intégrée dans la station peut être soit universelle, et codée par le constructeur — l'adressage IEEE garantit que cette adresse est unique —, soit locale. Dans ce dernier cas, elle doit être unique sur le réseau et gérée par l'utilisateur.

L'adresse indiquée dans la trame peut être individuelle, de groupe, de diffusion, sur un ou plusieurs anneaux, ou fonctionnelle (ponts, gestionnaires de réseau, etc.).

L'anneau à 16 ou 100 Mbit/s

Dans le cas de l'anneau à jeton à 16 ou 100 Mbit/s, le coupleur rend immédiatement le jeton, contrairement à celui à 4 Mbit/s, dans lequel le coupleur rend le jeton après que la trame a effectué un tour de la boucle. Il y a donc libération anticipée du jeton dans le cas du réseau à 16 ou 100 Mbit/s. Par ailleurs, la trame est d'une longueur plus importante.

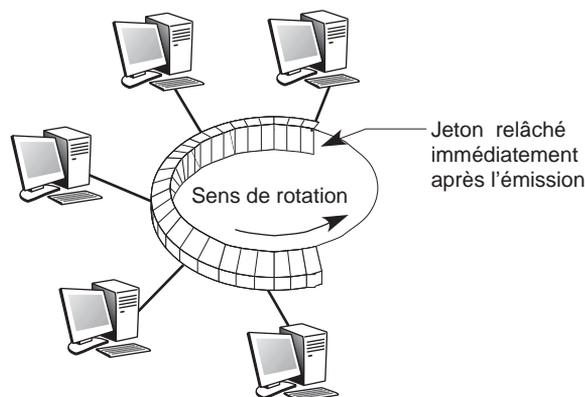
Dans cette technique d'accès, incompatible avec la version à 4 Mbit/s, la station qui souhaite émettre repère le jeton au passage, prend l'octet de contrôle, qui contient le jeton mais également des éléments de supervision et de priorité, et remet cet octet de contrôle sur le support physique, derrière la trame qu'elle vient d'émettre (*voir figure 24.10*).

Cette solution est beaucoup plus puissante puisque plusieurs trames peuvent être en cours de circulation sur la boucle tandis que dans le 4 Mbit/s une seule trame peut circuler à un instant t . La version à 16 ou 100 Mbit/s est donc incomparablement plus puissante.

L'échec commercial de ces versions provient essentiellement de leur prix de revient, beaucoup plus élevé que celui des réseaux Ethernet. En revanche, la gestion du Token-Ring est plus simple que celle d'Ethernet, où des registres actifs sont nécessaires dans les cartes de communication installées dans les postes de travail.

Figure 24.10

Technique d'accès IEEE 802.5 pour la version à 16 ou 100 Mbit/s



Caractéristiques des réseaux Token-Ring

Token-Ring est décrit par la norme IEEE 802.5, qui concerne l'implémentation d'un réseau local en anneau dont l'accès est géré par un jeton. Ce type de réseau fait aussi l'objet de la norme ISO 8802.5. Des standards ont également été adoptés pour l'utilisation de la fibre optique dans un environnement Token-Ring. La fibre et la connectique sont définies dans la norme IEEE 802.8, qui précise la nature de la fibre (62.5/125) et celle du connecteur (duplex ST défini par AMP). Les produits Token-Ring optiques ont été définis par le groupe IEEE 802.5j.

Pour permettre l'augmentation des débits, il faut que la distance à parcourir à partir du répartiteur soit la plus courte possible. Pour cela, plusieurs constructeurs ont développé des concentrateurs actifs, qui régénèrent le signal. En particulier, de nombreux constructeurs commercialisent des unités intelligentes de raccordement pour réseaux Token-Ring, dont les caractéristiques sont les suivantes : simplification de la conception physique du réseau local, plus grande disponibilité, sécurité accrue, autorisant le contrôle d'accès des stations au réseau et meilleure gestion des ressources.

Cette nouvelle unité de raccordement est active et régénère les trames de passage. Elle est prévue pour les grands réseaux et les réseaux à forte croissance.

Les principales caractéristiques d'un concentrateur actif sont les suivantes :

- L'unité active est de conception modulaire. Elle comprend une unité de base, pouvant recevoir différents modules, tels que des modules de raccordement de lobes, permettant la connexion à plusieurs stations terminales raccordées à une même prise du concentrateur, et des modules répéteurs. Elle supporte les paires en cuivre et les fibres optiques.
- L'unité active supporte au maximum 80 stations, son unité de base pouvant accepter jusqu'à 4 modules de raccordement de lobes, reliant chacun 20 stations au maximum.
- Les possibilités améliorées de sauvegarde et de reconfiguration automatiques assurent aux utilisateurs une très grande disponibilité du réseau Token-Ring.
- L'unité permet de contrôler l'accès des stations au réseau et d'en administrer les ressources beaucoup plus facilement. Quelle que soit la nature d'un incident survenu sur le réseau, la conception en double anneau, avec sauvegarde automatique, permet de localiser et de corriger l'incident plus rapidement et donc de réduire le temps d'indisponibilité.

Le Source-Routing

Dans la pratique, il arrive fréquemment que l'on soit amené à interconnecter des réseaux locaux Token-Ring par l'intermédiaire de passerelles, terme générique qui désigne un équipement capable de faire passer des trames d'un réseau vers un autre. Dans le cas qui nous intéresse, la passerelle est un pont, qui utilise l'adresse de niveau MAC pour décider de la porte de sortie du pont, c'est-à-dire l'adresse physique des coupleurs qui se connectent sur la boucle (*voir le chapitre 27 pour une présentation plus détaillée des passerelles*).

Le Source-Routing (suite)

Une technique de routage spécifique est mise en œuvre, le Source-Routing, qui détermine le chemin à suivre par les trames lorsque plusieurs chemins sont disponibles dans le réseau. La station source a la responsabilité de trouver une route à travers les divers ponts traversés pour atteindre la station cible. Le message de demande d'ouverture du chemin est pris en compte par tous les ponts rencontrés, qui le recopient et le retransmettent vers tous les autres réseaux connectés. C'est une diffusion qui doit rester contrôlée, de façon que le message de demande ne passe pas deux fois par le même pont. De toutes les copies, c'est la première qui arrive à destination qui détermine le chemin. En d'autres termes, le paquet de demande qui met le moins de temps pour arriver au destinataire détermine le chemin emprunté par les autres trames.

La figure 24.11 illustre le fonctionnement de cette interconnexion.

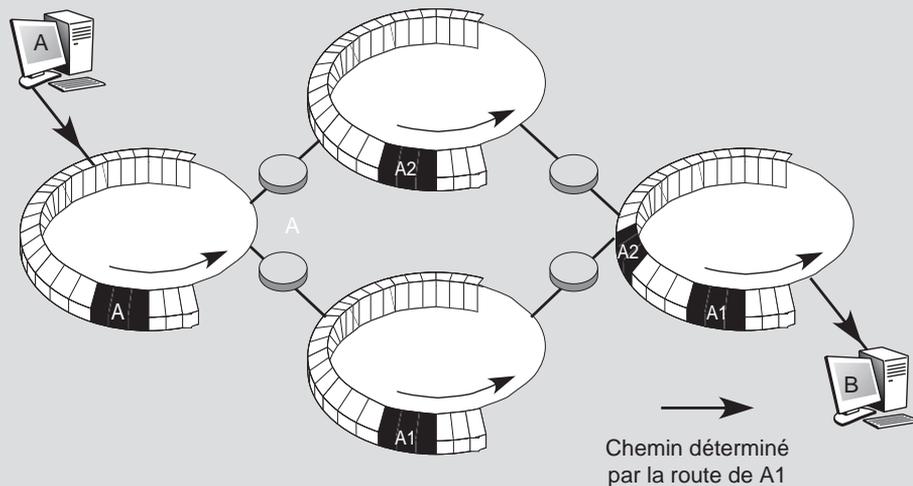


Figure 24.11

Fonctionnement du Source-Routing

Cette méthode offre une meilleure fiabilité du réseau puisqu'il y a un choix entre les différents chemins allant d'une station à une autre. Une aide est également fournie à la gestion du réseau par l'existence d'informations de routage dans les trames acheminées.

La commutation Token-Ring et le HSTR

Comme pour Ethernet, une amélioration possible des réseaux Token-Ring passe par la commutation. Dans un premier temps, on améliore la quantité d'informations transmises en divisant les réseaux Token-Ring en sous-réseaux reliés par des ponts filtrant le trafic. Le cas extrême est atteint lorsque chaque coupleur est relié directement à un concentrateur par une boucle simple qui ne relie que lui. De ce fait, le concentrateur devient un commutateur de trames Token-Ring.

Successeur des réseaux Token-Ring, le HSTR fonctionne d'une façon analogue au Token-Ring à 16 Mbit/s. Différents sous-groupes du groupe IEEE 802.5 se sont chargés de la normalisation :

- 802.5t : HSTR UTP5 ;

- 802.5u : HSTR fibre optique ;
- 802.5v : transport gigabit.

Le prix des cartes coupleurs est approximativement le double de celui des cartes 16 Mbit/s. Il existe des cartes coupleurs, dites autosense 4/16/100, qui s'adaptent à la vitesse du réseau.

Les réseaux HSTR s'intègrent directement aux Token-Ring en utilisant les mêmes règles de gestion. Les commutateurs Token-Ring acceptent généralement plusieurs cartes HSTR. On peut donc architecturer de grands réseaux Token-Ring avec les différents réseaux Token-Ring disponibles en mode partagé ou commuté, de façon assez semblable à ce qui existe dans le monde Ethernet. Cependant, l'arrivée plus tardive de ces réseaux et leur coût supérieur à celui de l'environnement Ethernet ne favorisent pas leur pénétration dans le domaine des réseaux d'entreprise.

FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

Le concept FDDI définit un réseau local ou métropolitain performant, pouvant véhiculer des données à haut débit (100 Mbit/s) avec une administration de réseau intégrée. Les réseaux FDDI ont été étudiés aux États-Unis par le comité d'accréditation de standard de l'ANSI (American National Standards Institute) ASC X3T9. Au niveau de l'ISO, le groupe de travail ISO/IEC.JTC1/ SC25 a complété la proposition FDDI pour en faire le standard international ISO 9314.

FDDI est défini comme un réseau local ou métropolitain et semble aujourd'hui la principale solution adaptée à la demande d'interconnexion de réseaux locaux dans un contexte de réseau fédérateur. Les constructeurs offrent déjà des solutions d'interconnexion de type Ethernet et Token-Ring au travers de réseaux FDDI. En résumé, FDDI est une technologie de réseau local pouvant supporter la notion de réseau intégrateur de type métropolitain.

Les avantages de la fibre optique, tels que sa large bande passante, son immunité aux perturbations électromagnétiques et sa faible atténuation, ont poussé à une normalisation de FDDI avec la fibre optique comme support physique. On s'est aperçu depuis quelques années que FDDI pouvait très bien se satisfaire de la paire torsadée pour des distances allant jusqu'à une centaine de mètres. Cette solution a permis de réduire les coûts d'installation et contribué à une augmentation notable du nombre de réseaux FDDI installés dans le monde.

Topologie et fonctionnalités des réseaux FDDI

Les réseaux FDDI reposent sur une topologie en double anneau sécurisé, auquel on attache des stations de type A (possédant une double connexion à chaque anneau), de type B (possédant une double connexion à un seul anneau) et de type C (concentrateurs connectés aux deux anneaux et pouvant relier les stations B).

Cette structure permet de connecter 500 stations de type A et C et 1 000 stations de type B sur une distance de 100 km. L'offre produit FDDI s'oriente vers les cartes et les contrôleurs, ainsi que les ponts et routeurs interconnectant des réseaux locaux de type Ethernet, Token-Ring, DECNet et TCP/IP. Cela permet aux réseaux FDDI d'adopter plus rapidement le cheminement d'un support de réseau local de type backbone que celui d'un support de réseau métropolitain.

Topologie et fonctionnalités des réseaux FDDI (suite)

Les réseaux FDDI possèdent les caractéristiques suivantes :

- La topologie est en double anneau contrarotatif de façon à pallier les pannes et les défaillances d'un coupleur.
- La longueur de la fibre peut atteindre 200 km, ce qui fait une distance maximale de 100 km lorsque le réseau est à plat.
- Le diamètre de l'anneau, s'il est mis en forme de boucle, est de 31 km.
- La distance maximale entre deux nœuds est de 2 km.
- Le débit théorique maximal est de 100 Mbit/s par boucle.
- La taille maximale des trames est de 45 000 octets.
- La méthode d'accès utilise un jeton temporisé, la synchronisation qui en découle assurant à l'utilisateur une qualité de service au moins du point de vue du débit.
- L'émission s'effectue en bande de base, et le codage des données est de type 4B/5B-NRZI.
- Le support physique consiste en de la fibre optique multimode 62,5/125, mais d'autres possibilités sont acceptables, notamment de la fibre optique monomode, qui porte la distance entre deux nœuds à 60 km au lieu de 2.
- Le nombre maximal de stations est de 500 en classe A et de 1 000 en classe B.
- Les adresses sont sur 16 ou 48 bits.
- Le principal protocole supporté est TCP/IP.

Il existe trois classes d'équipements : la classe A, connectée au double anneau, la classe C, composée des concentrateurs, et la classe B, qui regroupe les équipements connectés à un seul des anneaux par un concentrateur. Cette topologie est illustrée à la figure 24.12.

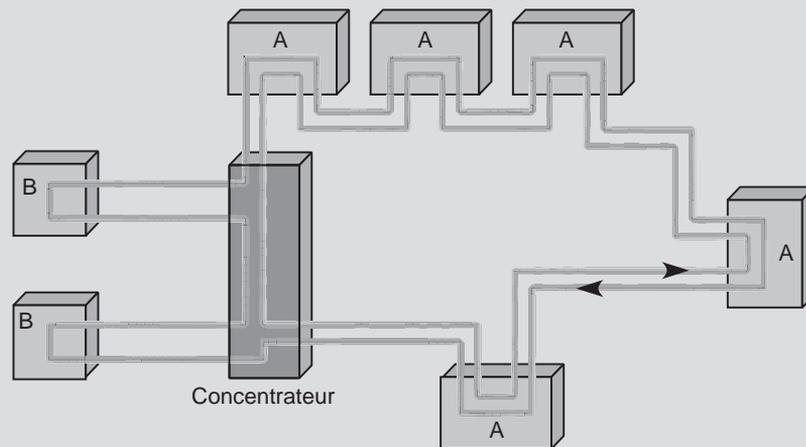


Figure 24.12

Topologie de la double boucle FDDI

La tolérance aux pannes constitue l'un des grands avantages d'un réseau FDDI. En cas de coupure d'un des anneaux, le réseau utilise le deuxième anneau. En cas de coupures multiples, le réseau se reconfigure automatiquement en un seul anneau, comme illustré à la figure 24.13, ou, si nécessaire, en plusieurs sous-réseaux.

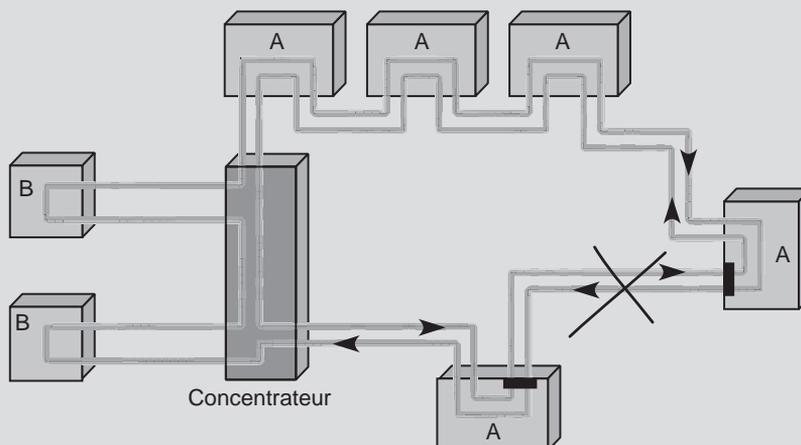


Figure 24.13

Configuration de repli en cas de coupure

Les stations A ont deux connexions physiques, tandis que les stations B n'ont qu'une connexion à l'anneau primaire par l'intermédiaire d'un concentrateur.

Quatre types de stations coexistent sur l'anneau :

- DAS (Dual Attachment Station) ;
- DAC (Dual Attachment Concentrator) ;
- SAC (Single Attachment Concentrator), ou attachement *via* un autre concentrateur ;
- SAS (Single Attachment Station).

La technique d'accès FDDI

La technique d'accès FDDI est analogue au jeton sur boucle de la norme ISO 8802.5. Cependant, pour assurer les synchronisations nécessaires, de nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées au jeton, qui prend le nom de jeton temporisé. Une autre différence importante concerne la mise à disposition du jeton : en suivant la norme de base ISO 8802.5, le jeton n'est libéré que lorsque la trame a fait un tour de boucle, ce qui peut être très pénalisant si le délai de propagation est important. Les structures de réseau à jeton étant actives, le coupleur doit être capable de déterminer si le jeton est en train de passer et de reconnaître son adresse pour enlever du réseau les données qui ont été émises.

Dans la technique d'accès à jeton temporisé, il faut, pour pouvoir émettre, satisfaire aux deux contraintes suivantes : avoir le jeton et être accepté par la station de management SMT. La première condition est caractéristique d'un réseau en boucle. En revanche, la seconde est relativement nouvelle, même si elle existait dans des réseaux locaux industriels comme celui de la norme IEEE 802.4.

Lorsqu'une station reçoit l'acceptation de se connecter à l'anneau, le système de gestion lui garantit une qualité de service, qui doit pouvoir se perpétuer indépendamment des autres stations. Pour ce faire, la technique d'accès comporte trois compteurs :

- Le compteur TTRT (Target Token Rotation Timer), qui indique la borne temporelle de garantie d'accès au support physique, en moyenne TTRT et au maximum 2 TTRT. Cette valeur est négociée lors de l'ouverture entre 4 ms et 167 ms.

Topologie et fonctionnalités des réseaux FDDI (suite)

- Le compteur TRT (Token Rotation Timer), qui est déclenché par chaque station dès qu'elle capte le jeton. Le maximum du TRT est égal à TTRT.
- Le compteur THT (Token-Holding Timer), qui indique le temps maximal alloué à une station pour sa transmission synchrone.

Si le compteur TRT expire avant l'arrivée du jeton, le jeton est en retard sur le TTRT moyen. Seul le trafic synchrone est permis. Si le compteur TRT n'est pas arrivé à expiration lorsque le jeton se présente, celui-ci est en avance sur le TTRT moyen. Dans ce cas, la station peut émettre son trafic synchrone et son trafic asynchrone jusqu'à concurrence de la valeur du TRT.

Un exemple de fonctionnement de FDDI est illustré à la figure 24.14.

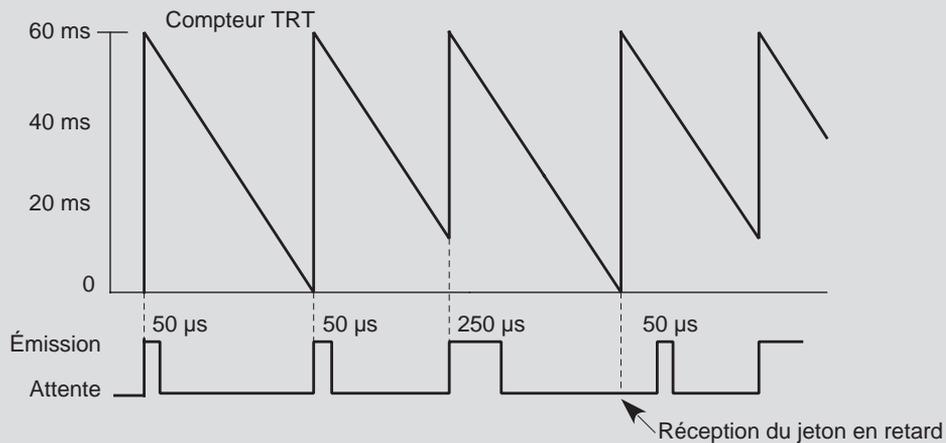


Figure 24.14

Compteurs FDDI (TTRT = 60 ms et THT = 50 µs)

Avant l'invasion par le monde Ethernet, de nombreux produits de réseaux locaux d'entreprise avaient été conçus puis commercialisés avant de disparaître peu à peu. L'un des plus connus provient de la norme IEEE 802.7.

IEEE 802.7 et le Cambridge Ring

La norme IEEE 802.7 a été adoptée à la suite d'une proposition provenant des concepteurs du réseau Cambridge Ring. Le Cambridge Ring est un réseau local informatique constitué d'un ensemble de nœuds en anneau. Ces nœuds sont des répéteurs, qui soit régénèrent le signal numérique, soit sont entièrement raccordés à une station. Les terminaux ou les hôtes sont reliés au réseau par un coupleur indépendant de l'hôte et par une boîte d'accès, qui, elle, est dépendante du terminal connecté.

Les informations véhiculées sur l'anneau sont placées dans des trames de très petite taille, dont la structure est illustrée à la figure 24.15.

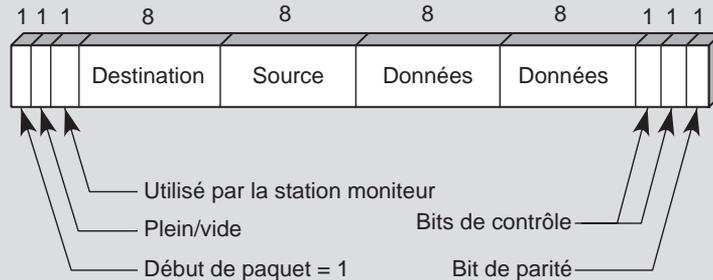


Figure 24.15

Structure des trames du Cambridge Ring

La technique d'accès du Cambridge Ring est appelée slotted-ring. Lors de l'initialisation de l'anneau, une station spécialisée, ou station moniteur, émet des structures de trame sur le support. Le nombre de ces trames dépend de la taille du réseau, et notamment du nombre de stations et de la longueur du câble physique. Entre ces structures de trames, on trouve des signaux, qui indiquent les intervalles sans trame. La station moniteur est également utilisée pour gérer l'anneau. Elle permet d'éliminer les paquets perdus et d'accumuler des statistiques sur les erreurs.

Quand un coupleur souhaite transmettre un paquet, il lit le bit de début de trame, qui précise si des informations sont en cours de transport ou non. Si ce bit est à 1, la structure de trame est déjà utilisée par un autre coupleur ; s'il est à 0, le coupleur peut insérer ses données. Les informations sont prélevées par le coupleur destinataire, qui positionne les bits de contrôle pour indiquer que les données ont été prélevées. Ces bits peuvent également signifier que les données ont été ignorées ou rejetées ou encore que le coupleur destinataire est occupé.

Si les informations sont prélevées normalement, la structure de trame continue jusqu'à l'émetteur, qui prend connaissance de la zone de contrôle et remet le bit plein/vide à 0. De plus, les données qui ont été recopiées par le récepteur sont examinées et comparées à celles envoyées en vue de détecter des erreurs éventuelles. La station émettrice n'a pas le droit de réémettre immédiatement un paquet. Comme les trames ne sont pas numérotées, l'émetteur reconnaît les siennes par l'adresse source, bien sûr, mais aussi parce qu'il connaît le nombre de structures de trames circulant sur le réseau physique. Lorsque le signal *STATION OCCUPÉE* est indiqué dans les deux bits de contrôle à la station qui récupère la trame, une retransmission a lieu après un temps prédéfini. Plusieurs retransmissions sont permises jusqu'à ce que le coupleur récepteur soit déclaré en panne.

Dans la structure de trame, le bit de parité, un bit associé à un bloc en vue de contrôler l'absence d'erreur au sein de ce bloc (voir le chapitre 4), permet surtout de détecter les erreurs systématiques du support. En effet, à chaque passage entre deux répéteurs, le bit de parité est calculé. Lorsqu'une de ses liaisons est défectueuse, le coupleur suivant s'en rend compte et émet un paquet spécial destiné à la station moniteur pour l'avertir de la défaillance.

La vitesse de ce réseau doit être élevée afin que plusieurs structures de trames puissent circuler. Les vitesses de 10 et 50 Mbit/s sont généralement retenues. Une extension, requise pour des vitesses encore plus élevées, est connue sous le nom de réseau Orwell.

Les entreprises multisites

Les réseaux d'entreprise multisites sont globalement formés de deux parties importantes, le réseau à l'intérieur de chaque site et le réseau permettant de relier les sites entre eux. Le réseau à l'intérieur de chaque site peut être vu comme un réseau mono-site.

La figure 24.16 illustre un réseau multisite.

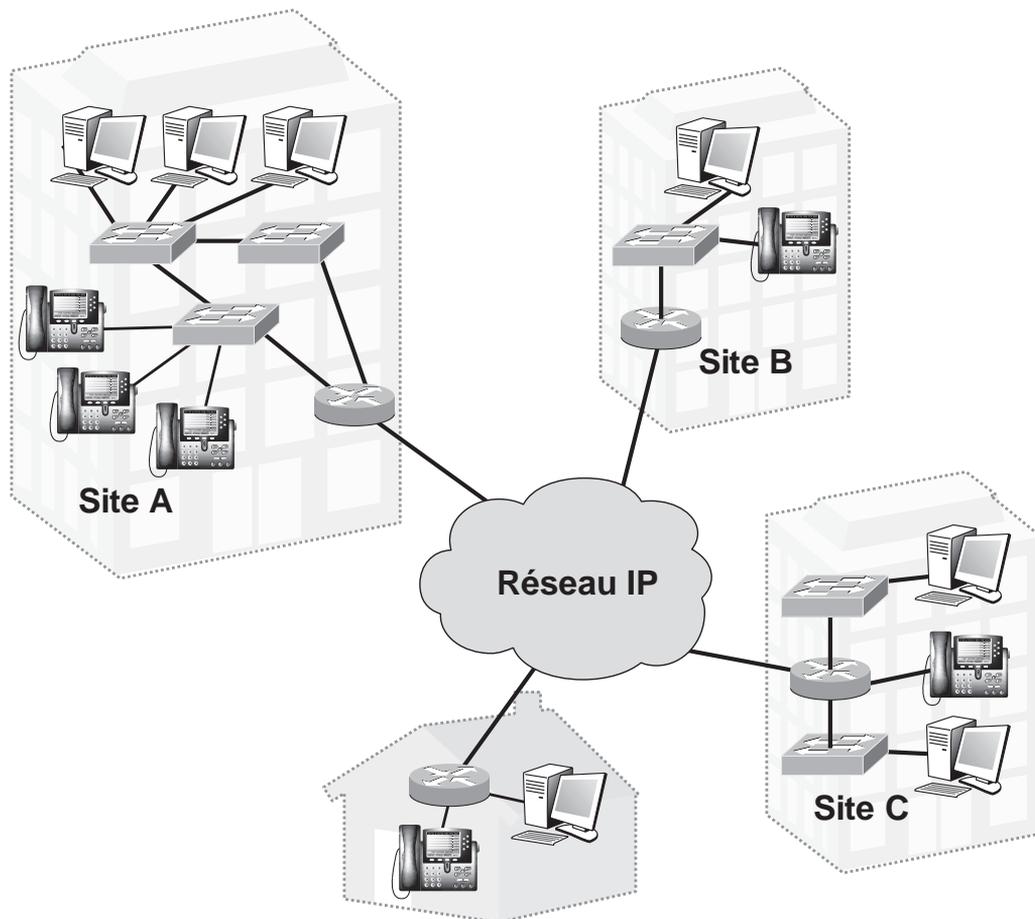


Figure 24.16

Réseau d'entreprise multisite

Dans cette figure, l'entreprise comporte trois sites, plus le domicile d'un télétravailleur, tous reliés par un réseau IP. Dans chaque site, on retrouve des postes de travail reliés par un réseau local Ethernet au routeur de sortie de l'entreprise. On trouve également des téléphones IP, raccordés à des commutateurs Ethernet et connectés au routeur de sortie. L'architecture de chaque réseau de site est donc un réseau Ethernet, de type commuté ou partagé, capable de gérer des classes de clients afin de traiter les paquets de parole en priorité par rapport aux paquets de données.

Le réseau IP intersite doit offrir qualité de service et sécurité. La qualité de service est celle provenant du réseau privé si l'entreprise a son propre réseau, ce qui est de plus en plus rare, ou celle proposée par l'opérateur. Cette qualité s'exprime par l'intermédiaire d'un SLA.

Suivant l'appartenance du réseau intersite, plusieurs solutions peuvent être envisagées pour la sécurité. La solution la plus classique consiste à chiffrer les paquets qui sortent et à les déchiffrer à l'entrée du site distant. Dans ce cas, on considère que les réseaux de site sont sûrs et que les accès à ces réseaux sont protégés.

Le chiffrement peut être fait de différentes façons, mais les deux protocoles les plus utilisés sont SSL et IPsec, que nous présentons en détail au chapitre 34.

Un réseau privé de liaison intersite revient généralement cher car il faut louer des liaisons qui risquent d'être mal utilisées. La plupart des entreprises font appel à un opérateur de réseau privé virtuel, ou VPN (Virtual Private Network), que nous examinons en détail au chapitre 32. Indiquons juste que ce sont des réseaux d'opérateurs qui sont partagés entre toutes les entreprises clientes de l'opérateur de telle sorte que chaque entreprise ait l'impression que le réseau est destiné à lui seul. L'avantage de cette solution est la forte diminution des prix puisque les ressources sont partagées par les entreprises connectées. De plus, les ressources n'étant pas utilisées en permanence, elles peuvent être réutilisées à la demande. Pour les opérateurs, la difficulté est de calculer les ressources à mettre en place pour qu'il n'y ait pas de surcharge et que les différents SLA contractés soient bien remplis.

Lorsque le réseau prend en charge la téléphonie, le serveur de signalisation peut être soit distribué sur l'ensemble des sites, soit centralisé dans le site principal.

Une solution de plus en plus utilisée par les opérateurs consiste à utiliser des VPN réalisés par un réseau MPLS. Les différentes liaisons entre les accès aux sites de l'entreprise sont matérialisées par des chemins privés, ou LSP (Label Switched Path) privés, sur lesquels un chiffrement peut éventuellement être ajouté de façon à augmenter la sécurité du transport. Ce chiffrement n'est toutefois pas absolument nécessaire puisque les LSP peuvent être considérés comme des tunnels déjà sécurisés.

Les réseaux locaux industriels

Les réseaux locaux industriels sont apparus à peu près en même temps que les réseaux locaux pour le secteur de la bureautique. Leur besoin est né de la demande croissante de productivité dans le domaine industriel et de la nécessité d'interconnecter divers équipements de contrôle et de mesure pour permettre d'échanger des informations et de les exploiter rapidement.

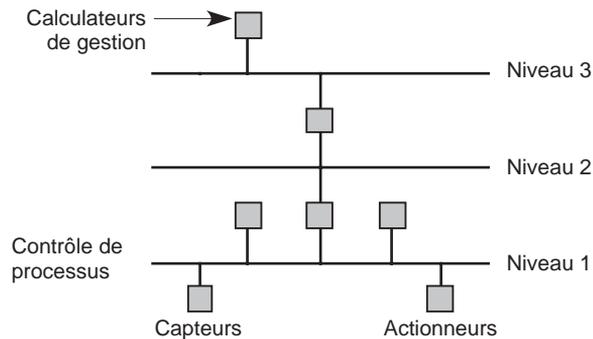
Cette section commence par examiner les architectures des réseaux locaux industriels puis examine la possibilité de choisir Ethernet pour réaliser de tels réseaux. Nous considérons ensuite la normalisation IEEE 802.4 avant de terminer sur des exemples de réseaux de terrain.

Architecture des réseaux industriels

Les réseaux locaux industriels appartiennent à différentes catégories. La figure 24.17 illustre l'architecture généralement admise pour un réseau dans un cadre industriel et montre trois niveaux de fonctionnalités.

Figure 24.17

Architecture des réseaux locaux industriels



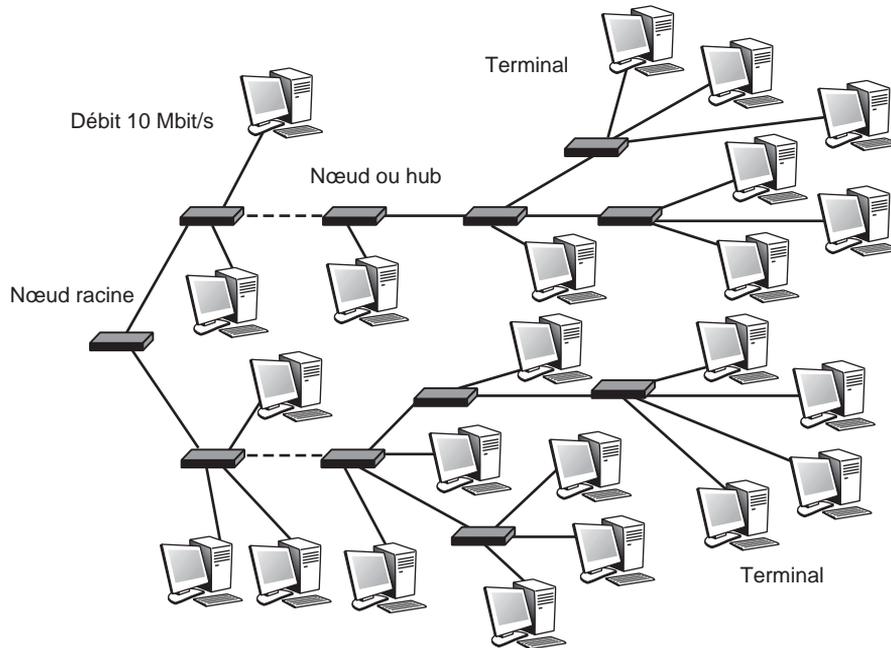
Le niveau 1 regroupe tous les capteurs, actionneurs et automates de l'atelier. Le réseau local correspondant doit avoir un temps de réaction temps réel et prendre en compte les phénomènes d'avalanche. Tous les capteurs et actionneurs peuvent émettre en même temps et porter le débit à un niveau supérieur au débit brut du réseau. Le niveau 2 est davantage un niveau de liaison et peut être omis sur certains réseaux. Le niveau 3 n'a pas les mêmes contraintes puisqu'il relie les calculateurs de gestion et les appareils de contrôle du temps réel. Les protocoles à choisir sont fondamentalement différents de ce que l'on rencontre dans les réseaux informatiques.

Les réseaux de terrain correspondent à des réseaux de niveau physique. Ce type de réseau présente des contraintes particulières et requiert une sécurité de fonctionnement plus importante que les réseaux locaux de type informatique. Ils doivent tolérer les pannes et assurer un acheminement des messages avec un haut degré de fiabilité. La charge à prendre en compte est très irrégulière, mais le système doit être apte à écouler les pointes de trafic dans des temps garantis. Les contraintes ne sont pas tant liées au débit qu'à la nécessité d'avoir un temps d'acheminement court et une sûreté de fonctionnement élevée. Pour privilégier certains capteurs particulièrement sensibles, les réseaux locaux industriels proposent plusieurs niveaux de priorités. Enfin, ces réseaux possèdent des interfaces adaptées au monde industriel.

Ethernet dans un contexte industriel

Les réseaux Ethernet ne sont pas toujours bien adaptés au monde industriel, en dépit de leur simplicité et de leur capacité à prendre en charge des débits en avalanche lorsqu'une capacité maximale est déterminée à l'avance. La catégorie de réseaux Ethernet qui s'insère le mieux dans le monde industriel provient de la norme 10BaseF, mais des infrastructures Ethernet à très haut débit, de 100 à 1 000 Mbit/s, sont également utilisées.

La norme 10BaseF offre une topologie semblable à celle des réseaux sur paires de fils torsadées, le support physique étant de la fibre optique. La topologie de base est illustrée à la figure 24.18.

**Figure 24.18**

Topologie du réseau ISO 8802.3 10BaseF

Cette norme utilise comme support physique la fibre optique, avec une topologie identique à celle de Starlan (ISO 8802.3 10BaseF). Le câble double-fibre peut avoir divers diamètres : 50/125, 62,5/125, 85/125, 100/140. Le transceiver, de type fibre optique, permet de détecter de nombreuses pannes du terminal. L'utilisation en est recommandée dans des environnements perturbés ou pour obtenir une sécurisation plus importante que dans les autres réseaux Ethernet.

La norme ISO 8802.3 10BaseF se décline en trois réseaux, en fonction du câblage. Ces réseaux sont incompatibles au niveau des prises, ce qui implique des hubs distincts ou plusieurs catégories de prises incompatibles sur le même hub. Ces trois réseaux sont les suivants :

- 10BaseFL Fiber Link, qui permet d'atteindre jusqu'à 2 km entre deux hubs ou entre un hub et un terminal.
- 10BaseFB Fiber Backbone, qui permet d'interconnecter jusqu'à 15 répéteurs Ethernet avec une contrainte de 2 km au maximum entre répéteurs.
- 10BaseFP Fiber Passive, qui utilise des hubs passifs sous forme d'étoile optique. Cette étoile offre une portée de 500 m. Il ne peut y avoir qu'un seul hub passif en série. Après une étoile passive, le signal doit rencontrer un hub, qui le régénère.

Les versions haut débit, Fast Ethernet et Gigabit Ethernet, à 100 et 1 000 Mbit/s, sont de plus en plus utilisées pour leur capacité de transport supportant sans le moindre problème des pointes de trafic lors des avalanches, tout en restant des réseaux temps réel. Sur ces réseaux, le support physique est quasiment toujours vide, même lors des avalanches, et le temps d'attente reste très faible puisque la probabilité de collision est négligeable.

Même en cas de collision, le faible débit par rapport à la capacité totale permet de résoudre les problèmes sans allongement anormal du temps de transport.

La norme ISO 8802.4 (IEEE 802.4)

La norme ISO 8802.4 (IEEE 802.4) décrit l'implémentation d'un réseau local en bus utilisant un contrôle d'accès de type jeton. Trois niveaux physiques sont spécifiés dans la norme :

- câble coaxial CATV 75 Ω à 1 Mbit/s utilisant un code Manchester avec violation de code ;
- câble coaxial 75 Ω à 5 ou 10 Mbit/s utilisant une technique large bande à un seul canal ;
- câble coaxial CATV 75 Ω utilisant une technique large bande sur des canaux de 1,5, 6 et 12 MHz.

Les vitesses de transmission sont de 1 Mbit/s pour le canal 1,5 MHz, 5 Mbit/s pour le canal 6 MHz et 10 Mbit/s pour le canal 12 MHz.

Format de la trame MAC IEEE 802.4

Le format de la trame MAC spécifié dans cette norme est illustré à la figure 24.19. Il comprend :

- Un préambule de longueur variable, constitué d'un nombre entier d'octet contenant au moins 2 μ s de symboles de bourrage.
- Des délimiteurs de début et de fin de trame, représentés par un octet chacun et contenant des violations de code.
- Le champ de contrôle, sur un octet, qui identifie le type de la trame (de données, de contrôle, d'administration ou autre).
- Les adresses destination et source, qui tiennent sur 2 ou 6 octets.
- Le champ Information, qui contient un nombre entier d'octet. La longueur maximale de la trame est de 8 191 octets.
- Le champ de contrôle d'erreur FCS (Frame Check Sequence), qui requiert 4 octets.

La technique d'accès spécifiée dans la norme IEEE 802.4 est de type jeton adressé. Une station acquiert le droit d'émettre lorsqu'elle reçoit une trame de supervision qui lui est adressée et qui possède le jeton. Une fois la transmission terminée, cette station passe le jeton à la station qui lui succède sur l'anneau logique, puisque toute station connaît son prédécesseur et son successeur. L'anneau logique est formé par les stations qui se transmettent le jeton dans l'ordre décroissant de leur adresse, indépendamment de leur emplacement physique. Il est possible d'utiliser un mécanisme de priorité pour accéder au bus.

La principale difficulté de cette méthode d'accès réside dans la nécessité de connaître à tout instant son prédécesseur et son successeur. La table d'activité qui contient ces informations doit constamment être mise à jour. En particulier, lorsqu'une station s'active, elle doit mettre sa table à jour pour connaître son successeur et son prédécesseur.

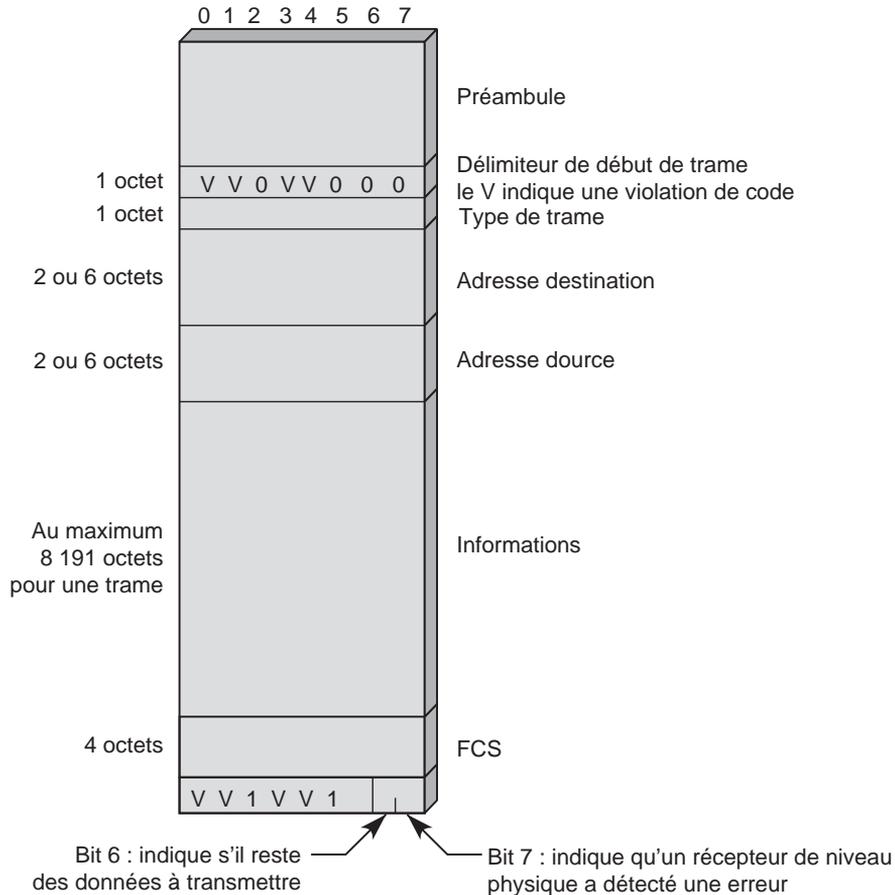


Figure 24.19

Format de la trame MAC IEEE 802.4

Un algorithme est nécessaire pour initialiser les stations qui viennent de s'activer. Par exemple, un coupleur qui reçoit le jeton essaye de réveiller les stations inactives pour les insérer dans l'anneau logique. Une autre solution possible pour qu'une station puisse se reconnecter consiste à provoquer une destruction délibérée du jeton. Une fois le jeton détruit, les stations engendrent une reconfiguration, qui permet à la station qui souhaite se reconnecter de prendre place dans l'algorithme de reconfiguration, comme toutes les autres stations.

Cette méthode d'accès est sensible aux erreurs en ligne, notamment aux erreurs sur le jeton, qui entraînent sa perte. Comme les normalisateurs ont voulu éviter une station de contrôle centralisée, une technique distribuée de redémarrage est nécessaire. Une solution consiste à attribuer à chaque station un temporisateur distinct, qui s'enclenche dès que plus rien ne circule sur le réseau. La station active qui possède le temporisateur le plus court régénère le jeton.

La technique de jeton sur bus a été adoptée par les utilisateurs de MAP (Manufacturing Automation Protocol), le protocole de réseau local industriel du début des années 80.

Les réseaux de terrain

Situés au plus bas niveau de l'architecture, le niveau physique, les réseaux de terrain permettent d'interconnecter des machines industrielles, comme des capteurs, des actionneurs ou des automates industriels.

Pour ces réseaux, les techniques d'accès présentées précédemment ne sont pas en mesure de prendre en compte les débits en avalanche ou les contraintes temps réel, de l'ordre de quelques microsecondes. De nombreuses propositions ont été faites, mais, pour le moment, aucune normalisation ne s'est imposée. En France, c'est la proposition FIP qui prévaut.

FIP (Factory Instrumentation Protocol)

FIP est un réseau de terrain dont la promotion est assurée par WorldFIP. Ce réseau peut aussi être envisagé comme un pas vers le standard Fieldbus (Fieldbus Foundation).

Plusieurs vitesses sont recommandées, mais les standards portent sur 1 et 5 Mbit/s. Pour atteindre le temps réel, il faut simplifier l'architecture du modèle de référence. En fait, il convient de se reporter à l'architecture définie par le groupement MAP, qui ne contient que trois couches de protocoles, les couches physique, liaison et application. Cette architecture s'appelle MAP/EPA (Manufacturing Automation Protocol/Enhanced Performance Architecture).

Commençons par la couche la plus basse de l'architecture, le niveau physique. Un code Manchester est utilisé pour transporter à la fois le signal d'horloge et les données. Les émissions se font en diffusion puisque beaucoup de transmissions doivent s'effectuer vers plusieurs récepteurs. L'architecture FIP privilégie automatiquement la diffusion, avec comme conséquence de n'utiliser que l'adresse source.

En fait, l'adresse utilisée dans FIP identifie un objet de l'application et non une interface de niveau MAC, comme dans le modèle de référence. En d'autres termes, l'adresse mène directement à l'objet recherché de niveau applicatif et non à une porte de sortie d'un réseau. C'est l'avantage de l'architecture simplifiée qui a été choisie. Par exemple, l'adresse IP dans un réseau informatique définit la station terminale, voire un ensemble de stations terminales. Dans l'architecture FIP, l'adresse correspond à un objet d'une base de données. Une station terminale possède donc autant d'adresses que d'objets qui peuvent être atteints.

La transmission s'effectue à l'aide de deux trames :

- une trame d'identification indiquant le nom de l'adresse source ;
- une trame de données contenant la valeur de l'objet précisée dans la trame précédente.

Deux types de trafics sont prévus, le trafic périodique et le trafic apériodique. Dans le premier cas, toutes les valeurs des objets à transmettre sont prévues à l'avance. Cela correspond, par exemple, à des capteurs qui doivent indiquer cycliquement leur état.

Au sein du trafic périodique doit s'insérer le trafic apériodique. Ces émissions s'effectuent par des processus de polling, qui permettent d'inspecter régulièrement les différents coupleurs. Le trafic apériodique se subdivise lui aussi en deux sous-groupes, le trafic apériodique transportant la valeur des paramètres de l'état du système et le trafic apériodique de messages. Lors de la configuration, l'utilisateur définit le temps de cycle et la durée de chaque phase, périodique puis apériodique de variables puis apériodique de messages.

Le protocole de liaison ne prévoit pas d'acquiescement à ce niveau. Il est cependant possible d'ajouter cette fonction. De plus, la communication peut être ouverte à la transmission d'objets non identifiés. Dans ce cas, la première trame indique explicitement la nature et l'adresse des informations transmises.

La couche application travaille dans un environnement producteur-consommateur. L'information est fournie par un producteur unique à un ou plusieurs consommateurs. Comme nous l'avons vu, les couches inférieures privilégient la diffusion vers l'ensemble des consommateurs. Seuls ceux qui se reconnaissent gardent une copie de l'information.

Différents mécanismes de lecture et d'écriture sont prévus :

- Lecture et écriture locales, qui ne font pas intervenir de communication sur le bus. La valeur obtenue est celle qui est disponible dans le réseau local.

- Lecture et écriture distantes, dans lesquelles un ou plusieurs consommateurs souhaitent connaître la valeur d'un objet et font une requête en lecture ou en écriture sur le bus de communication.
- Service de mise à jour, qui permet à une entité tierce de modifier la valeur des objets de la base de données répartie.
- Service d'indication, qui permet d'avertir une entité consommatrice ou productive de l'arrivée d'une donnée par le bus.

Dans les réseaux industriels, la validité des informations est capitale. Plusieurs mécanismes sont définis à cet effet. Tout d'abord, un service de synchronisation est disponible. Des données asynchrones peuvent participer à un processus distribué synchrone grâce à un mécanisme de synchronisation. La couche application de chaque station possède des mémoires tampons, accessibles soit à distance, soit localement. Le réseau vient déposer les informations dans la mémoire accessible à distance, et un ordre de synchronisation envoie ces données dans la mémoire tampon locale.

Une cohérence des informations de production doit également être assurée. Pour cela, on définit une période de rafraîchissement pendant laquelle l'information est valide. À la fin de cette période, une nouvelle valeur doit être disponible. On obtient une cohérence temporelle lorsque toutes les variables booléennes indiquant le respect du rafraîchissement sont vérifiées. Une cohérence spatiale peut également être déterminée lorsque plusieurs consommateurs souhaitent obtenir une même information de production. La cohérence existe si tous les consommateurs obtiennent exactement la même information.

CAN (Controller Area Network)

Le réseau CAN est conçu de telle sorte qu'il puisse s'adapter à la transmission à l'intérieur d'un véhicule automobile. De ce fait, les distances sont très limitées, la technique d'accès choisie dépendant de cette petite longueur. CAN décrit les contrôleurs d'accès au bus, autorisant un débit de 1 Mbit/s sur une longueur maximale de 40 m sur une paire torsadée. La limitation de la longueur ne provient pas de l'atténuation mais de la technique d'accès. Si l'on remplace la paire torsadée par de la fibre optique, la distance maximale reste de 40 m.

La technique d'accès est de type CSMA/CR (Carrier Sense Multiple Access/Contention Resolution), déjà utilisée dans les réseaux locaux informatiques ainsi que sur l'interface RNIS bande étroite.

La solution préconisée consiste à émettre lorsque le capteur a besoin de le faire. Si le support est libre, le contrôleur prend le contrôle du réseau. Il faut noter que le temps de transmission d'un bit est de 1 μ s, ce qui représente une propagation de 200 m. Comme la distance de 40 m, qui est la distance maximale entre deux stations, est inférieure à 200 m, il ne peut y avoir qu'une partie du signal en cours de propagation. En d'autres termes, lorsqu'un élément binaire est émis, il a le temps de disparaître du support avant que le suivant soit émis. Il est donc possible aux contrôleurs, en écoutant la porteuse, de vérifier que ce qui est émis est bien leur élément binaire. Si un contrôleur émet un 1 et qu'un autre contrôleur émette un 0, à l'écoute, c'est le 0 qui est capté. La méthode de détection de collision est simple. Il suffit que chaque station écoute la porteuse. Lorsqu'une station émet un 1 et qu'elle entend un 0, c'est qu'une station prioritaire est en train d'émettre. Dans ce cas, la station non prioritaire cesse d'émettre pour laisser passer la prioritaire.

Si une collision se produit, elle est résolue par un mode de priorité dans lequel la station dont l'adresse comporte le plus de 0 dans son en-tête prend la main. Les autres stations essaient de retransmettre à la fin du passage du client prioritaire.

Les réseaux CAN possèdent une couche application, appelée CAL (CAN Application Layer), qui spécifie les différents services susceptibles d'être mis en œuvre. Ces services concernent essentiellement les applications que l'on trouve dans les véhicules automobiles.

Les réseaux de terrain (suite)

Interbus

Le réseau Interbus a été développé pour interconnecter des automates industriels programmables. Sa topologie est en boucle, mais le support physique est en bus, avec des extensions vers les contrôleurs de connexion. La longueur du bus atteint 12,8 km et les bus périphériques 10 m. La carte maître d'Interbus est le point central du réseau. Il existe 256 points de connexion sur le bus principal, sachant que le bus peut être complété par des modules sur des bus secondaires.

La topologie en boucle utilise une paire aller et une paire retour, selon une technique assez semblable à celle du Token-Ring. En revanche, la technique d'accès n'est plus un processus de jeton mais un registre à décalage par cycle. Chaque station insère un mot de 2 octets lors du passage du mot envoyé par la station maître. Cette solution assure un débit minimal à chaque contrôleur et surtout un débit synchrone. Les débits asynchrones sont émis par le protocole PCP (Peripheral Communication Protocol), qui émet un message par fragment ajouté au train synchrone de chaque cycle.

Profibus FMS-PA

Profibus provient d'expériences et de développements effectués en Allemagne et repris par l'organisme de normalisation allemand DIN (Deutsche Institute für Normung). Les deux variantes, FMS (Fieldbus Message Specification) et PA (Process Automation), ont été développées en parallèle.

Profibus FMS a une topologie en bus sur une paire torsadée sur 400 m, avec une vitesse de 1,5 Mbit/s. C'est en fait une structure d'anneau logique avec passage de jeton de station maître en station maître. Les stations maîtres communiquent avec les stations esclaves et peuvent leur donner la parole. Le maître actif est la station qui détient le jeton.

Dans Profibus PA, la topologie, également en bus, utilise une paire torsadée blindée possédant une vitesse de transmission de seulement 31,25 Kbit/s. Cette structure peut s'adapter à des environnements extrêmement sensibles en assurant une très bonne garantie des communications. Dans les deux structures, deux niveaux de priorité sont définis pour la prise en charge des problèmes.

La technique d'accès au bus est, comme nous l'avons indiqué, effectuée par un jeton du même type que dans la norme IEEE 802.4 entre les stations maîtres. Une station maître interroge, par l'intermédiaire d'un polling, les stations esclaves qui dépendent d'elle. Chaque station maître ne peut garder le jeton que durant un temps prédéfini. De la sorte, le tour de la boucle logique est limité.

Les stations communiquent par des messages d'une longueur maximale de 240 octets. Des applications synchrones peuvent être développées sur ce réseau de terrain.

Des couches application sont également définies dans les structures Profibus. En particulier, la norme MMS (Manufacturing Message Service), concernant la messagerie en mode avec connexion, permet l'échange de messages sécurisés.

Autre norme de la même famille, Profibus DP (Decentralised Periphery), disponible depuis 1992, autorise des vitesses beaucoup plus élevées, atteignant 12 Mbit/s. Le support composé de paires torsadées sur de courtes distances peut être remplacé par de la fibre optique dès que le bus de transmission est long ou que l'environnement le demande. La distance maximale est de 200 m par brin, avec quatre répéteurs permettant d'obtenir une taille d'un kilomètre. La technique d'accès est similaire à celle décrite précédemment avec une solution mixte jeton-polling.

LON (Local Operating Network)

Le réseau LON a été conçu par la compagnie américaine Echelon pour la domotique. Son rôle est d'interconnecter en mode client-serveur des équipements de domotique et le serveur qui les gère.

Le support physique n'est pas spécifié dans la mesure où de très nombreuses possibilités peuvent être mises en place. Il peut y avoir de la paire torsadée jusqu'à une distance de 1 200 m, à une vitesse de transmission de 39 Kbit/s. Avec des transmetteurs spécifiques, cette longueur peut atteindre 2 000 m, à une vitesse de 78 Kbit/s. En règle générale, la vitesse de 78 Kbit/s est préconisée avec des topologies variables. Le protocole MAC de ce réseau, de type CSMA/CA, est appelé LonTalk.

La technique permettant d'éviter les collisions fait intervenir des temporisateurs déterminés par la priorité de la station. Lorsque la fin d'une transmission est détectée, les stations qui souhaitent émettre démarrent leur temporisateur, et c'est la station qui a le plus petit temporisateur, c'est-à-dire celle qui est prioritaire, qui prend le support.

Les paquets sont de petite taille, inférieure à 20 octets, et correspondent bien aux transferts survenant dans ce type de réseau.

Bitbus

Le réseau Bitbus a été développé par la société Intel pour interconnecter des microprocesseurs. Ce standard de fait est devenu un standard reconnu et normalisé par l'IEEE sous le numéro IEEE 1118.

Cette norme comporte trois modules :

- Basic Conformance, qui concerne les couches physiques et la technique d'accès, qui sont totalement compatibles avec les spécifications de la première génération Intel.
- Extended Conformance, qui concerne un complément de la couche liaison ainsi que la couche application.
- Universal Conformance, qui définit des fonctions supplémentaires introduites dans la couche liaison, comme le multipoint ou la diffusion, et des fonctions de gestion concernant la couche application.

La topologie choisie est en bus et peut être arborescente avec l'aide de répéteurs. La vitesse de transmission est de 375 Kbit/s pour une distance maximale de 300 m entre les deux points les plus éloignés et de 62,5 Kbit/s pour une distance allant jusqu'à 13,2 km. Trois paires métalliques sont nécessaires, la première pour les transmissions de données, la deuxième pour la masse et la troisième pour la transmission de commandes, cette dernière n'étant pas indispensable dans la nouvelle génération. Un blindage est fortement recommandé, surtout dans les environnements sensibles.

La technique d'accès est de type polling : une station maître interroge les nœuds esclaves, lesquels doivent répondre dans un temps limité. La longueur des paquets peut atteindre 256 octets. La structure de la trame ressemble à celle de la trame HDLC, présentée au chapitre 6.

Conclusion

Les réseaux d'entreprise forment une classe de réseaux assez hétérogène étant donné la diversité des entreprises par la taille, le besoin de qualité de service ou la sécurité. Les nombreux éléments nécessaires à la construction d'un réseau d'entreprise sont disséminés tout au long de ce livre, et pas seulement dans ce chapitre.

Références

Un livre sur la sécurisation du réseau mais également sur le système d'information :

F. C. BYRNES, D. KUTNICK – *Securing Business Information: Strategies to Protect the Enterprise and Its Network*, Intel Press, 2004

Pendant de nombreuses années, les réseaux d'entreprise étaient reliés par des réseaux d'opérateurs employant la technologie ATM. C'est toujours en grande partie le cas, mais au travers de la technologie MPLS. Ce livre décrit ces techniques :

J. A. CHIONG – *Internetworking ATM: For the Internet and Enterprise Networks*, McGraw-Hill, 1997

Un très bon livre, qui permet de bien situer les différents points à prendre en compte dans un réseau d'entreprise :

S. GHERNAOUTI-HELIE, A. DUFOUR – *Enterprise Networks and Telephony*, Springer Verlag Telos, 1999

Les services rendus par les réseaux d'entreprise peuvent être classifiés en niveaux suivant la qualité de service requise. Le livre suivant fait le point de ces différents niveaux :

L. LEWIS – *Service Level Management for Enterprise Networks*, Artech House, 1999

Une présentation simple des réseaux privés virtuels pour permettre la connexion intersite et favoriser la sécurité des communications :

M. S. MERKOW – *Virtual Private Networks for Dummies*, For Dummies, 2000

Un excellent livre, détaillant les éléments à mettre en place dans un réseau d'entreprise pour obtenir les services demandés :

J.-L. MONTAGNIER – *Construire son réseau d'entreprise*, Eyrolles, 2001

Un livre complet sur les caractéristiques des réseaux d'entreprise. Les sujets importants, comme la sécurité, la qualité de service, etc., sont discutés en détail :

M. NORRIS, S. PRETTY – *Designing the Total Area Network: Intranets, VPNs and Enterprise Networks Explained*, Wiley, 2000

Un livre consacré à la sécurité des réseaux d'entreprise, facile à lire et apportant de nombreux éléments pour la construction du réseau :

J. SHERWOOD, D. LYNAS, A. CLARKE – *Enterprise Security Architecture: How to Build and Run a Secure Enterprise Network*, Addison Wesley, 2003

La sécurité d'un réseau d'entreprise dépend beaucoup des fonctions de la passerelle qui permet d'entrer et de sortir. En particulier, une zone dite démilitarisée, la DMZ, permet de mettre en place ce no man's land :

R. J. SHIMONSKI, W. SCHMIED, V. CHANG, T. W. SHINDER – *Building DMZs for Enterprise Networks*, Syngress Publishing, 2003