

Téléinformatique - Télétraitement

GENERALITES

La téléinformatique peut se définir comme le domaine de l'informatique utilisant les techniques de transmission à distance.

La conjugaison de l'informatique et des télécommunications a ouvert des horizons nouveaux.

Cet aspect de l'informatique n'a cessé d'occuper une place prédominante auprès du grand public.

En effet, bon nombre de personnes ont déjà soit été confrontées à un service tel que le minitel, soit ont utilisé un guichet bancaire automatique, soit ont vu des images numérisées de Saturne (ou d'autres planètes) envoyées sur terre par l'ordinateur de bord des sondes spatiales ou soit, plus récemment, utilisées les réseaux Internet et Intranet.

La téléinformatique a connu et connaît toujours des développements constants et concomitants à ceux des techniques informatiques.

Les premiers essais de transmission de données entre deux ordinateurs ont lieu dans les années 60.

Les années 70 sont marquées par la généralisation des techniques d'accès à distance, la décentralisation des stations d'entrée/sortie et l'apparition des terminaux.

La notion de terminal englobe des équipements allant d'un simple poste de travail composé d'un écran de visualisation et d'un clavier, à des équipements englobant en complément des unités auxiliaires telles que les imprimantes.

A la fin des années 70 apparaissent des réseaux de terminaux (communication de circuits avec des concentrateurs, des multiplexeurs) ainsi que des réseaux d'ordinateurs (communication de messages, paquets).

La téléinformatique est devenu un des sujets prédominants depuis les années 80 et le restera encore pour de nombreuses années. Les principaux aspects sont les réseaux publics, les réseaux locaux, les communications entre réseaux, les communications par satellite, les fibres optiques, les communications digitales.

Si la technologie semble à peu près au point pour permettre le développement de tous ces aspects, un problème important subsiste, celui de la normalisation.

LES TECHNIQUES DE COMMUNICATION

Tout transfert d'informations utilisant les télécommunications nécessite la mise en place et l'utilisation de moyens matériels et logiciels.

Parmi les moyens matériels, les voies de transmission représentent les infrastructures de base indispensables aux communications à distance.

Chaque voies de transmission présentent des spécificités et des contraintes techniques inhérentes à leurs natures.

LIAISON TELEINFORMATIQUE

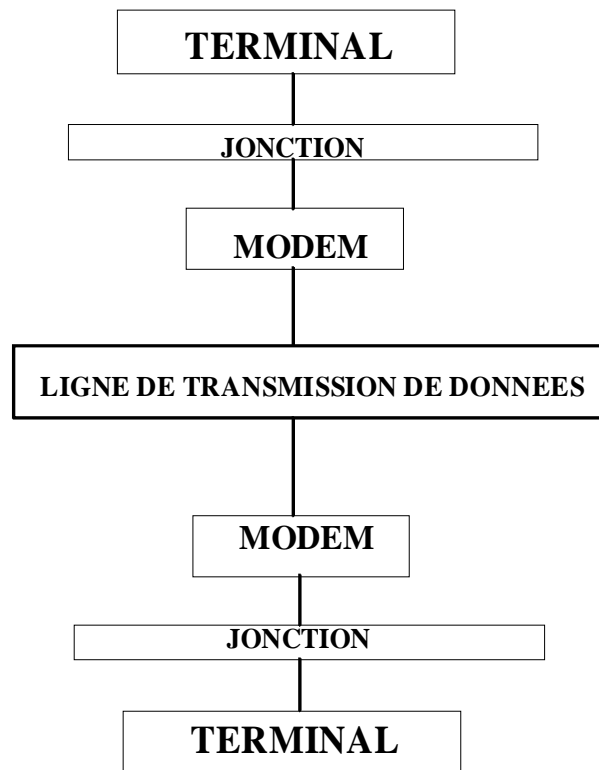


Figure 1 Liaison téléinformatique

VOIES DE TRANSMISSION

DIFFERENTS SUPPORTS PHYSIQUES D'UNE VOIE DE TRANSMISSION

Toutes les voies de transmission utilisent la propagation des ondes électromagnétiques. On les divise en trois grandes catégories selon le support physique utilisé.

- La voie métallique.

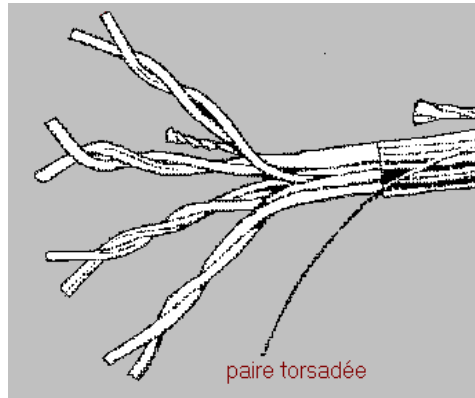


Figure 2 La paire torsadée

C'est une ligne électrique, qui peut être soit une ligne téléphonique, soit un câble électrique. La transmission à l'aide de ce support est facile mais comporte quelques inconvénients tel que l'affaiblissement du signal sur de grandes distances (d'où la nécessité de la réamplifier régulièrement) et surtout la sensibilité aux bruits. Ce dernier défaut peut être atténué par l'utilisation d'un blindage, tel qu'un câble coaxial. Un câble coaxial est un fil électrique entouré par une enveloppe métallique, les deux étant séparés par un isolant. Le réseau téléphonique utilise principalement des paires de fils torsadés pour le raccordement des abonnés.

- Le faisceau hertzien.

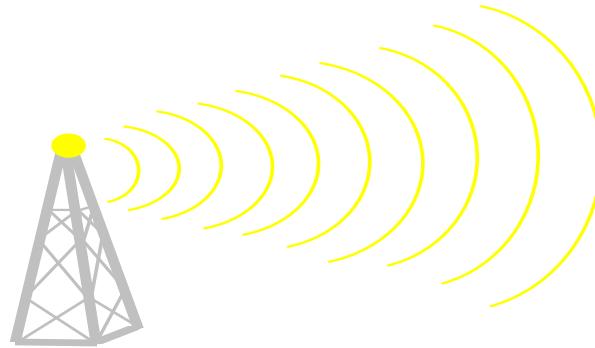


Figure 3 Le faisceau hertzien

Ce support utilise les ondes radioélectriques pour transporter des informations. La propagation peut se faire en ligne droite, c'est le cas pour des utilisations telles que la télévision et la radio, mais pour permettre les transmissions sur de grandes distances, il est plus aisé d'utiliser des satellites. Les satellites utilisés sont géostationnaires: ils tournent à la même vitesse angulaire (par rapport au centre de la terre) que la terre avec une orbite située à 36.000 km d'altitude. Si l'on prend la terre comme système de référence, alors un satellite géostationnaire est immobile. Les principaux avantages sont la couverture de grandes distances, la diffusion, tout en évitant les problèmes de câblages. Les principaux défauts sont l'affaiblissement des signaux dans l'air et le temps de propagation qui est de l'ordre de 260 ms pour un trajet aller-retour. Un satellite travaille au moins avec deux bandes de fréquences, une (montante) dans laquelle il reçoit les informations, l'autre (descendante) dans laquelle il renvoie ces informations.

- La fibre optique.

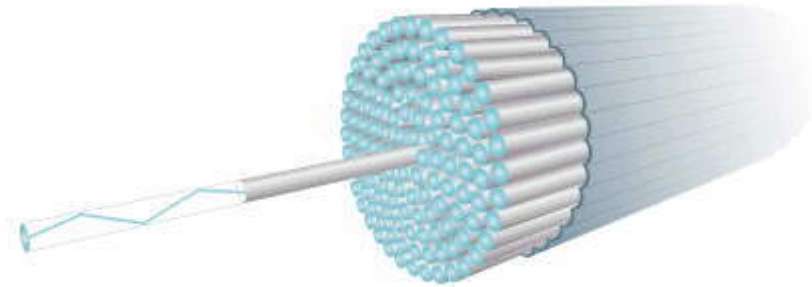


Figure 4 La fibre optique

Le transport d'informations est réalisé par propagation d'ondes lumineuses dans des fibres de verre. La propagation lumineuse s'effectue par réflexion sur les parois de la fibre qui a un diamètre compris entre 100 et 300 microns. Les fibres optiques ont bon nombre d'avantages tels que très grande bande passante, bonne immunité aux bruits électromagnétiques, petite taille, pas d'affaiblissement du signal. La bande passante varie de 50 MHz jusqu'à 100 GHz selon le type de fibre utilisé. On distingue trois types de fibre classés par ordre croissant de capacité: les fibres multimodes à saut d'indice, les fibres multimodes à gradient d'indice et les fibres monomodes. Le principal point faible réside dans les connexions qui sont délicates. Une diode électroluminescente ou laser convertit le signal électrique à transmettre en un signal optique alors qu'un détecteur de lumière, une photodiode, effectue la conversion inverse. La présence ou l'absence d'un signal lumineux permet le codage d'un bit.

L'utilisation de ces divers supports dépend du type de liaison.

Une liaison intercontinentale est réalisée à l'aide d'un satellite, une liaison entre des ordinateurs d'un même pays par les lignes téléphoniques, une liaison entre deux bâtiments d'une même ville par des fibres optiques, une liaison de divers équipements dans un même bâtiment par un câble coaxial et une liaison entre des équipements proches l'un de l'autre par de simples fils électriques.

Il est à noter que l'utilisation de la fibre optique tend à se généraliser aux liaisons nationales et internationales.

TRANSMISSIONS SERIE ET PARALLELE

Quand la liaison physique est établie, on essaie alors de transmettre de l'information (en l'occurrence des bits), ce qui peut être effectué de deux manières.

- ◆ Transmission parallèle.
Transmission de plusieurs bits simultanément. Par exemple, le bus d'un micro-ordinateur peut transmettre 8 ou 16 bits simultanément, une ligne téléphonique longue distance peut transmettre 12 communications simultanées. Le parallélisme est réalisé, soit par duplication des lignes (cas du bus), soit par partage de la voie (cas de la ligne téléphonique);
- Transmission série.
Les informations sont transmises sur la même ligne les unes après les autres et se succèdent dans le temps.

Remarques :

- les conversions parallèle / série sont possibles à l'aide de registre à décalage ;
- bien souvent on entend parler d'ordinateurs disposant de sorties parallèles et/ou de sorties série. Dans une sortie parallèle on transmet des octets (il y a nécessairement 8 fils de données) alors que dans les sortie série on ne transmet que des bits (ce qui ne nécessite qu'un fil de données).

MODES DE TRANSMISSION ET SYNCHRONISATION

Tout transfert d'informations utilisant les télécommunications est principalement réalisé sous forme série. Un des principaux problèmes de la transmission série consiste dans la synchronisation de l'émetteur et du récepteur. La transmission parallèle, pour laquelle plusieurs supports de communication sont mis en parallèle, pose des problèmes de synchronisation plus complexes et n'est utilisée que sur de courtes distances. La plupart des équipements informatiques sont dotés d'une sortie (ou d'une porte) RS232C, qui est la sortie standard permettant une transmission série.

La synchronisation détermine les instants d'échantillonnage du signal transmis pour reconnaître les bits constituant l'information. Une séquence de bits correspond à une suite de changements d'états du signal, chaque état ne durant qu'un laps de temps très court. Le récepteur doit être synchronisé pour que le début et la fin des instants d'échantillonnage correspondent bien aux changements d'états. Si la synchronisation est mauvaise il se peut qu'il y ait un changement d'état pendant un instant d'échantillonnage. C'est ce que l'on appelle la synchronisation-bit. Dès que le récepteur reçoit bien les bits d'information il doit encore reconnaître les caractères, c'est la synchronisation-caractère.

On distingue alors deux modes de transmission: la transmission asynchrone et la transmission synchrone.

- La transmission asynchrone.
Les caractères sont émis de façon irrégulière comme par exemple des caractères tapés sur un clavier. L'intervalle de temps entre deux caractères est aléatoire, le début d'un message peut survenir à n'importe quel moment. Il n'y a synchronisation entre l'émetteur et le récepteur que pendant la transmission de chaque caractère, les bits composant les caractères sont transmis de manière régulière. Mais il faut reconnaître le début et la fin de ces caractères, pour permettre la synchronisation-bit, ce qui est réalisé en ajoutant un bit au début (start-bit) et un ou deux bits à la fin du caractère (stop-bit). On peut ajouter aussi un bit de parité avant les stop-bits. Ce mode de transmission est relativement simple et peu coûteux, mais la redondance due aux bits ajoutés ne permet pas d'atteindre une grande capacité de transmission, et son utilisation est limitée aux terminaux lents, comme un clavier ou une petite imprimante.
- La transmission synchrone.
Les bits sont émis de façon régulière, sans séparation entre les caractères. Pour cela, le récepteur possède une horloge-bit de même fréquence que celle de l'émetteur. Les transmissions du signal permettent une bonne synchronisation tout au long de la transmission. La synchronisation-caractère (reconnaissance du début et de la fin des messages) est réalisée par la reconnaissance de séquences particulières de bits, ou par

l'insertion régulière d'éléments de synchronisation au cours de la transmission. Ce mode de transmission permet des débits plus importants que la transmission asynchrone, il est utilisé dès que l'on veut des débits supérieurs à 1200 bits/sec.

MODES D'EXPLOITATION D'UNE VOIE DE TRANSMISSION

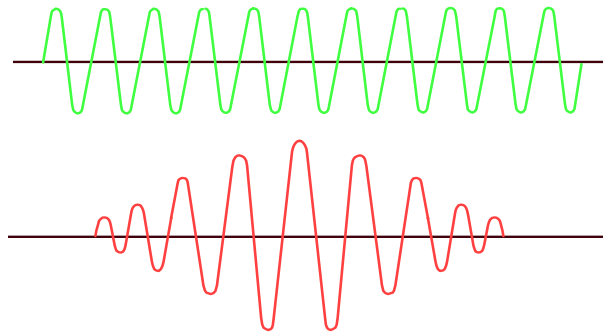
L'exploitation d'une voie de transmission peut s'effectuer suivant différents modes.

- Le mode simplex.
La transmission est unidirectionnelle, une extrémité émet et l'autre reçoit. Les diffusions radio et TV en sont les exemples les plus caractéristiques.
- Le mode semi-duplex (half-duplex).
Le mode, appelé aussi bidirectionnel à l'alternat, permet une transmission dans les deux sens, mais alternativement. Chacune des deux extrémités reçoit et émet à tour de rôle, jamais simultanément.
- ♦ Le mode duplex (full-duplex).
Ce mode, appelé aussi bidirectionnel simultanée, permet une transmission simultanée dans les deux sens.

On utilise ces termes pour caractériser aussi bien le mode d'exploitation possible d'une voie de transmission que le protocole de liaison utilisé. Dans la pratique, une voie peut avoir certaines capacités tel que le mode duplex, bien que le protocole de liaison n'utilise que le mode simplex.

BANDE PASSANTE ET CAPACITE

Une voie de transmission permet le transport de signaux avec des contraintes telles que d'appartenir à une certaine bande de fréquences. Les fréquences extérieures à cette bande ne sont pas transmises correctement.



La bande de fréquences correctement transmise est appelée bande passante.

La bande passante, notée généralement W , est égale à la différence des bornes de la bande de fréquences correctement transmise: $W = f_2 - f_1$, où f_1 est la fréquence transmise la plus basse et f_2 la plus haute.

Une bande passante indique une largeur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle.

Exemple: Une ligne téléphonique transmet les fréquences de 300 à 3.400 hertz (Hz), sa bande passante est donc de 3.100 Hz. Cette bande passante ne permet pas de transmettre de manière absolue tous les signaux vocaux, mais elle est jugée suffisante car elle permet de transmettre 80 % de ces signaux. Pour améliorer ce pourcentage il faudrait augmenter de beaucoup la bande passante, ce qui n'est finalement pas rentable. A titre de comparaison, un câble coaxial a une bande passante de 500 MHz et une fibre optique 3.3 GHz.

La bande passante d'une voie de transmission est sa caractéristique essentielle car elle détermine directement la capacité de transmission de cette voie.

La capacité d'une voie de transmission (ou sa rapidité de signalisation) est égale à $2 W$ bauds, où W indique la bande passante exprimée en hertz.

Le baud est l'unité de rapidité de signalisation, il correspond au nombre de signaux par seconde.

Pour transmettre des données, le temps est divisé en intervalles d'égale durée. Chacun de ces intervalles permet de transmettre un signal.

Si chaque signal permet de transmettre n bits, alors la capacité de transmission est égale à:

$$C = 2 n W \text{ bits par seconde (bps).}$$

Capacité d'une voie de transmission :

- $C = 2 W$ (bauds); W = bande passante
- $C = 2 W n$ (bps); n = nombre de bits/signal

Exemple: Une ligne téléphonique a une rapidité de signalisation de $2 \times 3.100 = 6.200$ bauds. Sa capacité dépend du nombre de bits transmis par signal.

Le fait de pouvoir transmettre plusieurs bits par signal implique qu'un signal doit pouvoir représenter un certain nombre de valeurs. Plus exactement, pour avoir n bits/signal il faut qu'un signal ait $L = 2^n$ valeurs différentes ($n = \log_2 L$). Cependant on ne peut pas augmenter indéfiniment le nombre de bits/signal car alors le nombre de valeurs différentes augmente d'autant plus et le récepteur aura des difficultés à les différencier en tenant compte des bruits qui viennent se superposer à l'information.

La capacité d'une voie de transmission est non seulement limitée par sa bande passante mais aussi par le rapport signal/bruit (S/B).

$$\text{Capacité: } C = W \log_2 (1 + S/B) \text{ Hz (hertz)}$$

En pratique, le débit binaire d'une ligne téléphonique ne dépasse pas 9.600 bps. Il est atteint avec une rapidité de modulation de 2.400 bauds et en codant quatre bits par signal.

TRANSMISSION ANALOGIQUE ET MODULATION

TRANSMISSION ANALOGIQUE

La transmission analogique consiste à utiliser un signal simple, appelé onde porteuse, dont on modifie un ou plusieurs paramètres, qui sont l'amplitude, la fréquence et la phase.

Cette technique nécessite une bande passante relativement étroite. Si la voie de transmission possède une bande passante assez large, alors on peut transmettre simultanément plusieurs ondes porteuses. On utilise le terme de large bande (Broadband) pour caractériser ce type de transmission. Ce principe est utilisé par les PTT pour les liaisons entre centraux téléphoniques. La largeur de bande utilisée dans les raccordements d'abonnés est limitée à environ 3.100 Hz, mais les lignes utilisées pour les liaisons à grande distance disposent d'une bande passante de 48 KHz, ce qui permet de faire passer 12 communications simultanées.

Les équipements nécessaires à ce type de transmission sont complexes et coûteux par rapport à ceux utilisés dans une transmission digitale. En effet, les signaux ont tendance à s'atténuer pendant leur transmission. Ils doivent donc être amplifiés périodiquement par des répéteurs. Mais amplifier un signal analogique signifie aussi amplifier les bruits et les parasites superposés.

A cause de la limitation de la bande passante, la plus grande partie des harmoniques d'un signal carré n'est pas transmise, les signaux arrivent donc déformés.

Pour résoudre ce problème on transforme les informations digitales en informations analogiques par la modulation - démodulation.

MODULATION D'AMPLITUDE, DE FREQUENCE ET DE PHASE

Pour permettre la transformation d'informations digitales en informations analogiques, on module une onde porteuse sinusoïdale périodique. Elle peut être représentée par l'expression mathématique suivante :

$$s(t) = A \sin(\omega t + \phi) \text{ ou } s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

où A est l'amplitude du signal, ω la pulsation, f la fréquence et ϕ la phase initiale.

DIFFERENTS TYPES DE MODULATION:

Les diverses transformations subies par une information digitale pour être convertie en une information analogique sont en général réalisées à l'intérieur de l'émetteur. A l'autre extrémité, le récepteur effectue les opérations inverses pour retrouver l'information initiale. Comme les transmissions sont, en général, bidirectionnelles on regroupe l'émetteur et le récepteur dans un même ensemble que l'on appelle modem et dont on place un exemplaire à chaque bout de la ligne. Toutefois, bien que cette appellation soit largement répandue, elle ne correspond pas tout à fait à la réalité. Le terme modem nous fait penser à la modulation-démodulation du signal, mais passe sous silence les fonctions de codage-décodage du signal digital et d'interfaçage qui sont réalisées par ces mêmes équipements.

- La modulation d'amplitude (AM).
Le signal est modulé en faisant varier l'amplitude de l'onde porteuse. Il peut être représenté par l'expression mathématique suivante :
 $s(t) = A(t) \sin(2\pi f t + \phi)$
L'amplitude $A(t)$ est maintenant une fonction dépendante du temps. Aux deux valeurs binaires 0 et 1 correspondent deux amplitudes différentes de l'onde porteuse.
- La modulation de fréquence (FM).
Le signal est modulé en faisant varier la fréquence de l'onde porteuse. Il peut être représenté par l'expression mathématique suivante :
 $s(t) = A \sin(2\pi f(t) + \phi)$
La fréquence $f(t)$ est maintenant une fonction dépendante du temps. Aux deux valeurs binaires 0 et 1 correspondent deux fréquences différentes de l'onde porteuse.
- La modulation de phase (PM).
Le signal est modulé en faisant varier la phase (par un déphasage) de l'onde porteuse. Il peut être représenté par l'expression mathématique suivante :
 $s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi(t))$
La phase $\phi(t)$ est maintenant une fonction dépendante du temps. Aux deux valeurs binaires 0 et 1 correspondent deux déphasages différents de l'onde porteuse.

Remarques :

- la modulation d'amplitude est très sensible aux bruits, ce qui n'est pas le cas de la modulation de fréquence;
- les exemples de modulation indiqués ici sont des modulations à deux niveaux qui permettent de transporter un bit d'information. On peut aussi réaliser des modulations avec un plus grand nombre de niveaux ainsi que combiner plusieurs types de modulation. Pour pouvoir coder n bits en un seul signal, celui-ci doit pouvoir prendre 2^n valeurs différentes. Evidemment on ne peut pas augmenter indéfiniment le nombre de valeurs différentes d'un signal car elles deviennent alors difficiles à différencier.

Exemple :

Soit un signal pouvant prendre une valeur parmi 8 valeurs différentes obtenues à partir de 4 niveaux d'amplitude et 2 phases. Alors chaque signal permet de coder 3 bits ($2^3 = 8$).

LA TELECOPIE

La télécopie habituellement référencée sous le nom de machine fax ou tout simplement fax permet d'envoyer des copies de documents à un destinataire par l'intermédiaire des lignes téléphoniques. C'est une machine hybride qui est une combinaison d'un modem, d'un scanner et d'une imprimante et qui se connecte comme un appareil téléphonique. Evidemment, pour communiquer par fax, l'émetteur et le destinataire doivent disposer d'un fax.

Lorsque l'on envoie un document le fax digitalise le document, compresse les données et les envoie au destinataire. Celui-ci les reçoit, les décompresse et les imprime.

TRANSMISSION DIGITALE ET MODULATION

TRANSMISSION DIGITALE OU NUMERIQUE

La transmission digitale ou numérique consiste à transmettre des bits sous forme d'impulsions électriques carrées ayant une durée et une amplitude précises. Cette forme est celle qui offre la meilleure protection contre les signaux électriques parasites de toute nature. En effet, les caractéristiques des signaux étant prédéfinies il est aisé de les identifier à l'arrivée et d'éliminer les parasites accumulés lors de la transmission.

L'encodage des informations se réalise d'une manière similaire à celle utilisée pour l'encodage des informations sur un support magnétique, en particulier pour les techniques NRZ (Non Return To Zero) et NRZI (NRZ Inverted). Donc l'identification de l'information, un bit, consiste à détecter une impulsion positive ou négative. La valeur du bit "0" ou "1" est déterminée par le code utilisé.

L'inconvénient majeur de la transmission digitale est qu'elle nécessite une très grande bande passante, puisqu'il faut transmettre toutes les fréquences constituant les signaux (un signal carré se compose d'une fréquence de base plus d'un nombre infini d'harmoniques, dont la fréquence augmente au fur et à mesure). On utilise aussi le terme de bande de base (Baseband) pour caractériser ce type de transmission.

MODULATION PAR IMPULSION ET CODAGE

Les nouvelles technologies (par exemple, les fibres optiques) permettent une transmission digitale. Un codage des données devient donc nécessaire si l'on désire transmettre des informations analogiques: elles doivent être codées sous forme numérique. On doit alors effectuer une modulation par impulsion et codage (PCM: Pulse Code Modulation) qui consiste à échantillonner le signal (analogique) à l'émission, à transmettre la valeur des échantillons et à reconstituer le signal à la réception.

Exemple de transmission d'un signal vocal sous forme numérique:

La voix occupant approximativement une bande passante de 4 KHz, on échantillonne à une fréquence double de la largeur de la bande. En effet, si un signal analogique ne comporte pas de fréquences supérieures à une valeur F , il peut alors être transmis sans perte d'informations par l'ensemble de ses échantillons, à condition que la fréquence d'échantillonnage soit au moins égale à $2 F$. Les échantillons sont donc pris à une fréquence de 9 KHz (fréquence habituellement choisie pour coder la voix), c'est-à-dire que l'on effectue 8.000 échantillonnages par seconde. Si chaque échantillon est codé sur 9 bits, c'est-à-dire que l'on admet $2^9 = 256$ amplitudes différentes, alors on a un débit de $8 \times 8.000 \text{ bits/s} = 64 \text{ Kbps}$ (bits par seconde).

Un raffinement de cette technique, la modulation "delta" consiste à transmettre la différence entre deux échantillons plutôt que la valeur des deux échantillons.

Remarque :

- On constate une évolution dans les voies de transmission, qui tendent à devenir digitales, et dans les informations qui migrent du texte simple vers l'image animée (telle que la télévision). Pour numériser une image animée, trois types d'échantillonnage sont nécessaires: un échantillonnage spatial exprimé en nombre de points par image (par exemple 1.024 par 1.024); un échantillonnage spécial caractérisant chaque point de l'image par exemple, 256 niveaux ou 8 bits pour chacune des trois composantes d'une image couleur, on parle alors d'une image 24 bits); un échantillonnage temporel qui dépend du degré et de la qualité de l'animation (par exemple, 25 ou 30 images par seconde pour la télévision).

MULTIPLEXAGE

Le Multiplexage peut être défini comme le partage d'une voie de transmission entre plusieurs liaisons (une liaison est l'établissement d'une communication entre deux équipements informatiques).

Ces liaisons sont établies sans qu'il y ait de gêne mutuelle.

Deux techniques sont principalement utilisées.

- Le multiplexage fréquentiel (FDM: Frequency Division Multiplexing). Aussi appelé multiplexage spatial, il consiste à diviser la bande passante de la voie de transmission en plusieurs bandes de plus faible largeur. Chacune de ces sous-bandes permet d'établir une liaison entre deux unités. La bande passante des sous-bandes doit être assez large pour assurer le débit de la liaison concernée. Les signaux des sous-bandes sont ajoutés les uns aux autres pour être transmis sur la voie de transmission, ce qui est réalisé par un multiplexeur. A la réception, un démultiplexeur décompose le signal reçu par une série de filtres passe-bande. Aucun adressage explicite n'est nécessaire, chaque liaison est identifiée par la bande de fréquences utilisée. Pour assurer une bonne transmission, on laisse une bande de fréquences inutilisée entre chaque sous-bande. Par exemple, dans le réseau téléphonique les voies de transmission ayant une bande passante de 48 KHz sont divisées en 12 voies de 3.100 Hz, il y a une bande d'environ 1.000 Hz qui n'est pas utilisée entre chaque sous-bande. Les signaux transmis avec cette technique sont du type analogique, les informations digitales doivent donc être codées à l'aide de modems pour être transmises.
- Le multiplexage temporel CTDM (Time Division Multiplexing). Il consiste à partager dans le temps la voie de transmission entre plusieurs transmissions. Avec cette technique, chaque liaison utilise, à son tour, toute la largeur de bande de la voie pendant un certain temps limité. Ce principe permet la transmission d'informations digitales (à condition que la voie de transmission utilisée le permette). Si l'allocation des intervalles de temps est systématique (mode synchrone), on constate une perte de temps si ceux-ci ne sont pas exploités pleinement. Par exemple, considérons le cas de plusieurs terminaux reliés à un ordinateur par un multiplexeur temporel. Si l'un des utilisateurs réfléchit devant son terminal, alors les tranches de temps qui lui sont allouées ne servent à rien. Les multiplexeurs intelligents (ITDM: Intelligent TDM), ou statistiques, résolvent ce problème en allouant des tranches de temps selon les besoins de chaque liaison (mode

asynchrone). Dans ce cas, l'allocation des intervalles de temps n'est pas systématique. Ces multiplexeurs intelligents sont aussi appelés concentrateurs.

Remarques :

- Les deux types de multiplexage ne sont pas incompatibles et peuvent être employés conjointement.
- Cependant, le multiplexage fréquentiel tend à disparaître au profit du multiplexage temporel, plus adapté à la transmission numérique.
- La transmission de la voix sous forme numérique impose une contrainte de temps. Ceci est vrai pour d'autres informations dépendant du temps telles que la vidéo.

LES RESEAUX TELEINFORMATIQUES

L'association de l'informatique et des télécommunications a conduit à l'apparition des réseaux. Tout système téléinformatique repose sur l'utilisation d'un ou de plusieurs réseaux.

Devant la diversité des types de réseaux existants, il s'agit d'apprécier le type de réseau à mettre en place, le caractère permanent ou non de la liaison, son degré de fiabilité et ses aspects de sécurité, enfin le débit des lignes requis.

GENERALITES

Un réseau téléinformatique est composé de nœuds qui constituent des unités de traitement de l'information.

Ces unités de traitement échangent de l'information par l'intermédiaire des liens qui relient les nœuds et qui sont des canaux de transmission.

En pratique, les nœuds peuvent être des ordinateurs ou des équipements terminaux (écran/clavier, imprimante ...) et les canaux de transmission sont bien souvent des lignes téléphoniques pour les grands réseaux et des câbles coaxiaux pour les réseaux locaux.

Un réseau d'ordinateurs (network computer) est par conséquent un ensemble d'ordinateurs (et d'équipements terminaux), géographiquement dispersés, reliés entre eux par un ou plusieurs liens afin de permettre les échanges d'informations.

Les ordinateurs d'un réseau peuvent appartenir à diverses catégories allant du super-ordinateur jusqu'au micro-ordinateur et évidemment être de marques différentes. Si les ordinateurs du réseau sont compatibles entre eux, généralement à cause du fait qu'ils sont du même constructeur, le réseau est homogène, et s'il y a des disparités dans le matériel c'est un réseau hétérogène.

Un réseau a pour objet d'offrir un certain nombre de services à ses utilisateurs, basés sur l'échange d'informations à distance :

- accès à des informations (programmes, données) stockées sur d'autres ordinateurs du réseau ;
- accès à d'autres ordinateurs (par exemple, un superordinateur ou un ordinateur spécialisé) ;
- permettre l'échange d'informations entre les utilisateurs, comme par l'intermédiaire des messageries électroniques.

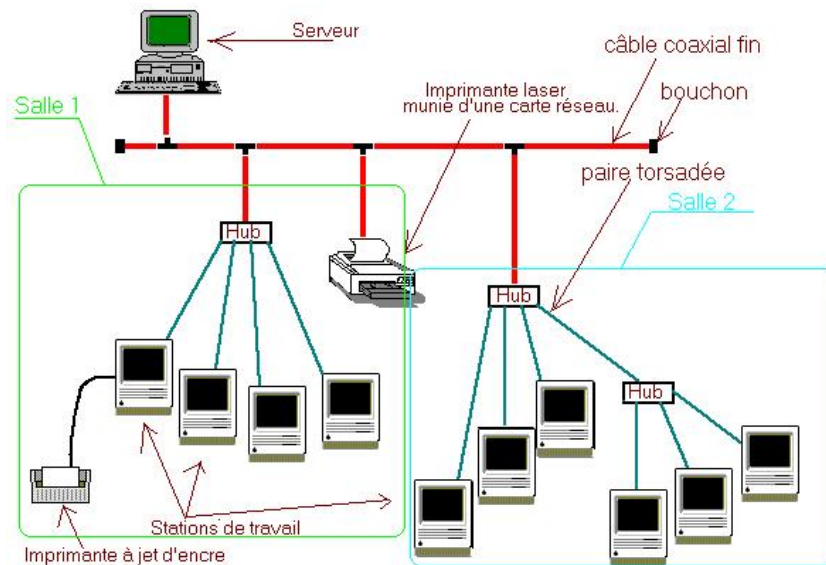


Figure 5 Exemple de réseau

Suivant le diamètre d'un réseau, c'est-à-dire l'éloignement maximal entre les nœuds, on peut le classer (par ordre croissant de capacité) dans une des catégories suivantes:

- Réseau étendu ou (inter)national (WAN: Wide Area Network):

Réseau dont les nœuds sont géographiquement très éloignés les uns des autres (plusieurs centaines ou milliers de kilomètres). Ce type de réseau utilise généralement les réseaux publics (les lignes téléphoniques par exemple);

- Réseau métropolitain (MAN: Metropolitan Area Network):

Réseau dont les nœuds se situent dans la même métropole. Les fibres optiques sont souvent utilisées pour la réalisation d'un tel réseau;

- Réseau local (LAN: Local Area Network):

Réseau dont les nœuds se trouvent dans le même bâtiment ou dans des bâtiments voisins, donc éloignés jusqu'à quelques centaines de mètres.

La distance couverte par les différents types de réseaux peut être résumée de la façon suivante :

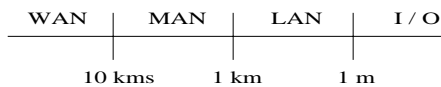


Figure 6 Types de réseaux et distances couvertes

TYPLOGIE DES RESEAUX

Pour permettre l'échange d'informations entre deux utilisateurs d'un réseau, il faut nécessairement pouvoir adresser les membres du réseau.

- Les réseaux point à point

C'est la forme la plus simple : un terminal est relié directement à un ordinateur, par une seule ligne; il y a autant de lignes que de terminaux.

- Les réseaux multi-points

Plusieurs terminaux, en principe situés dans une même région géographique sont connectés sur une seule ligne - par un dispositif matériel appelé multiplexeur, chacun envoyant ou recevant de l'information à tour de rôle.

METHODES DE TRANSPORT

Les réseaux se divisent en plusieurs catégories selon la méthode de transport qu'ils utilisent.

- Le réseau téléphonique commuté (RTC):

La téléphonie permet des échanges de données, texte ou images préalablement numérisées, à des débits compris entre 300 et 34 400 bits par seconde (bps).

Les bits par seconde sont une unité de mesure de la bande passante, à ne pas confondre avec les Bauds qui sont une unité de mesure de la vitesse de modulation.

Dans tous les cas, la tarification se compose de trois éléments :

- un abonnement forfaitaire ;
- la durée de connexion ;
- une majoration pour les communications en dehors de la circonscription d'émission.

Certains de ces débits correspondent à des normes spécifiques ou à des valeurs particulières consacrées par le marché.

Le réseau RTC permet d'avoir une ligne commutée périodiquement entre les différents noeuds du réseau. Il est souvent combiné avec des lignes louées (Mailnet, Eunet). Rentable pour de petites charges, mais il impose des périodes d'attente (chaque noeud est commuté à tour de rôle).

On a utilisé successivement les débits suivants, aujourd'hui obsolètes pour un usage professionnel:

- 1 200 bps (V22),
- 2 400 bps (V22 bis),
- 4 800 bps (V27 ter).

Mais on utilise encore couramment les débits suivants:

- 9 600 bps (V32),
- 14 400 bps (V32 bis),
- 19 200 bps (V32 ter),
- 28 800 bps (V34),
- 34 400 bps (V34 bis).

Le réseau téléphonique public est commuté (R.T.C.) et, à ce titre, n'offre pas de caractère permanent: en fonction du trafic, l'obtention de la communication n'est pas toujours possible.

- Les réseaux spécialisés

On lui oppose les réseaux spécialisés, à usage privé, c'est à dire ceux qui sont constitués par un ensemble fermé d'abonnés; ces réseaux assurent la liaison dans tous les cas.

Ces réseaux sont basés sur des lignes louées aux PTT par l'utilisateur.

Il doit en assurer la gestion. C'est à lui de fournir les services. Ce principe est rentable s'il y a beaucoup de transferts d'informations. C'est le cas de réseaux comme Arpanet, Euronet, Eam, Csnet, Switch.

Les liaisons utilisent les mêmes débits que le R.T.C., plus un à 128 Kbps.

Elles sont toujours de type "point à point" ou de type "bouclé" (cas de la S.N.C.F.).

Elles peuvent être :

- publiques, permettant ainsi leurs partages avec d'autres utilisateurs ;
- privées, garantissant l'exclusivité - à un instant T - et donc la confidentialité à leur utilisateur.

- Les réseaux privés:

Développés par l'utilisateur sans intervention des PTT. C'est le cas de certains réseaux locaux (Ethernet).

- Les réseaux publics:

Les services sont assurés par les PTT. C'est rentable si l'on a peu de transferts. En général, ces réseaux ont une commutation par paquets (Transpac, Telepac).

Liaison téléinformatique

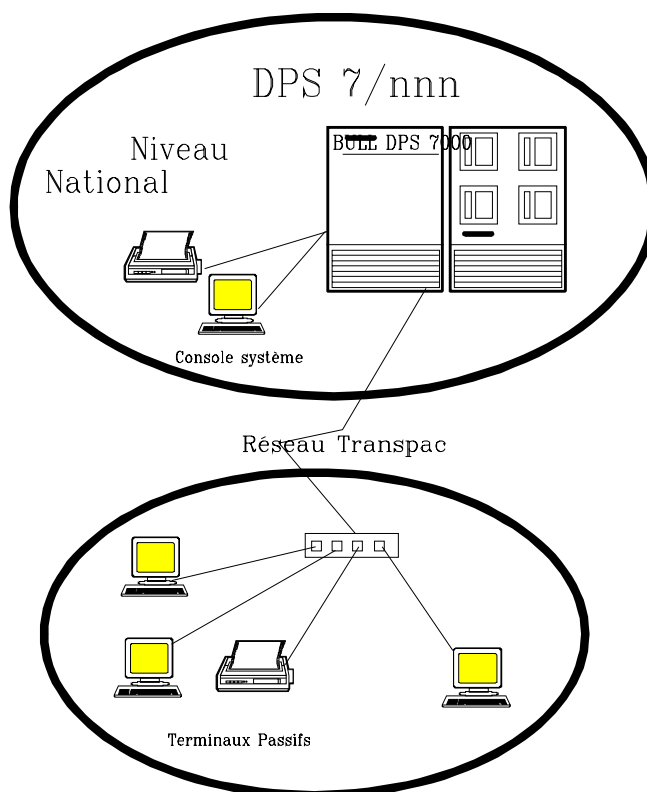


Figure 7 Le réseau TRANSPAC

- Le réseau numérique à intégration de services (R.N.I.S.)

Dénommé commercialement Numéris, il permet des débits à 64 000 bps ou 64 Kbps.

On distingue deux types de liaison :

- S0, avec :
 1. un canal (D), véhiculant les informations de service, à 16 Kbps,
 2. deux canaux (B), transportant les données, à 64 Kbps.
- ♦ S2, avec:
 3. un canal D,
 4. 32 canaux B;

Ce Numéris « professionnel » est utilisé, par exemple, en entrée des autocommutateurs du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.

- La norme Vidéotex (avis V23 du Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique: C.C.I.T.T.)

Surtout consacrée par l'intermédiaire de son support le plus connu, à savoir le Minitel, elle a la particularité d'utiliser deux débits différents selon le sens d'émission des données :

- 75 bps en émission,
- 1200 bps en réception.

LES TECHNIQUES DE COMMUTATION DE DONNEES

Généralement le chemin suivi par l'information, de l'expéditeur au destinataire, emprunte un certain nombre de nœuds intermédiaires qui doivent faire suivre correctement les informations qu'ils reçoivent.

Plusieurs techniques permettent d'effectuer les commutations nécessaires à chaque nœud.

- La commutation de circuits (circuit switching):

On établit une connexion physique temporaire entre les nœuds désirant échanger de l'information. Le transfert a lieu dès que la connexion est établie et elle le reste pendant toute la durée de la communication, même pendant les périodes où aucune information n'est échangée. Ce type de commutation est rentable pour une ligne n'ayant que peu d'échanges d'informations. L'exemple le plus représentatif est celui du réseau téléphonique.

- La commutation de messages (message switching):

Avec cette technique, il n'y a plus besoin de réserver une ligne, on envoie simplement un message, avec son adresse, dans le réseau qui se charge de l'acheminement. Lorsqu'un message arrive à un nœud, celui-ci decode l'adresse du destinataire et si le message ne lui est pas adressé il l'envoie au nœud suivant dans la direction du destinataire, selon des tables de routage. Un message est donc l'ensemble des informations transférées en un envoi. Cette technique oblige chaque nœud à réceptionner des messages complets, à les stocker temporairement et à les renvoyer s'il n'y a pas eu d'erreur de transmission. Dans tous les cas le nœud doit envoyer un accusé de réception indiquant s'il a bien, ou mal, reçu le message. La taille des messages peut varier considérablement ce qui oblige les nœuds à disposer d'importants moyens de stockage. Cette commutation est plus souple que la précédente car elle permet de différer l'envoi d'un message si le nœud récepteur n'est pas disponible. Les inconvénients de cette technique viennent des messages de taille importante: il faut les stocker et surtout les longs messages sont sujets à des taux d'erreurs plus élevés que les petits messages. De plus, en cas d'erreur, il faut retransmettre le message entier. Ce type de commutation tend à disparaître au profit de la commutation de paquets.

- La commutation de paquets (packet switching):

Ce type de commutation est similaire à la commutation de messages mais limite la taille des informations transmises. On divise un message en paquets de longueurs limitées (de l'ordre de 1.024 bits = 128 bytes) et on envoie les paquets séparément sur le réseau. Du fait de leur taille réduite, les paquets sont moins sensibles aux erreurs, ils sont plus faciles à stocker (la mémoire centrale suffit) et ainsi l'acheminement est plus rapide. Dans ce cas les paquets n'empruntent pas

forcement la même route à travers le réseau, suivant la charge de celui-ci, leur ordre d'arrivée peut donc différer de l'ordre de départ. Il faut simplement numéroter les paquets pour pouvoir reconstituer le message à l'arrivée.

Les réseaux utilisés sont maillés, le sommet de chaque maille étant constitué par un concentrateur (ou commutateur de paquets), ce qui permet de re-router instantanément un paquet qui ne peut pas être acheminé, à un instant donné, par le chemin « direct » (le « plus court »). On parle ici de circuit virtuel, par opposition à un circuit physiquement constitué.

Il s'agit ici de réseaux nationaux, à la norme X25, qui permettent également des débits compris entre 300 bps et 128 Kbps.

Ils peuvent être :

- publics, tel le réseau français TRANSPAC, avec un numéro d'appel public (exemple de la Cité des Sciences de La Villette) ;
- privés, avec un ensemble restreint d'abonnés qui seuls connaissent les numéros d'appel.

La tarification est indépendante de la distance et est essentiellement fonction du volume des données transmises.

LA TOPOLOGIE DES RESEAUX

La topologie du réseau, c'est-à-dire la localisation des nœuds et l'agencement des liens entre ces nœuds, peut être très variée. La topologie d'un réseau varie selon la nature de celui-ci.

Il existe différentes topologies.

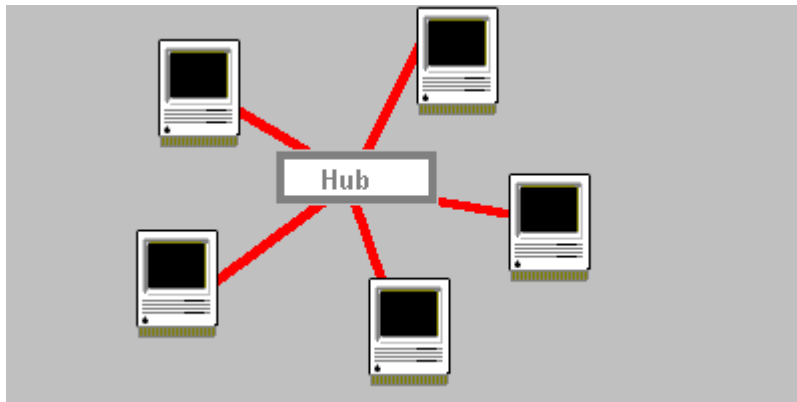
- Le réseau maillé

Les liaisons sont organisées de telle façon que les terminaux soient accessibles par plusieurs voies de transmission, le meilleur chemin étant choisi à chaque intersection (nœud).

Deux nœuds quelconques sont reliés l'un à l'autre. Ce type de réseau permet plus de souplesse et de fiabilité dans son utilisation, mais il est difficilement envisageable pour un grand nombre de nœuds. Généralement, le maillage n'est pas parfait (il y a certains nœuds qui ne sont pas reliés), on dit alors que c'est un réseau partiellement maillé. Tous les autres types de réseaux sont des sous-ensembles de ce type, obtenus en posant des conditions sur les liens entre les nœuds.

- Le réseau étoilé

Un réseau étoilé est un réseau centralisé, un seul nœud est relié directement à tous les autres sans que ceux-ci aient de liens entre eux. Le nœud central supporte toute la charge du réseau.



L'ensemble des équipements terminaux reliés à un ordinateur multi-utilisateur forment aussi un réseau de type étoilé dont le nœud central est constitué par l'ordinateur et les nœuds périphériques sont constitués par les équipements terminaux.

- Le réseau en arbre

Un réseau en arbre est un réseau hiérarchique réparti sur plusieurs niveaux, les nœuds d'un même niveau n'ont pas de liens entre eux mais sont reliés à un nœud du niveau supérieur. Le réseau téléphonique est un exemple caractéristique de ce type de réseau.

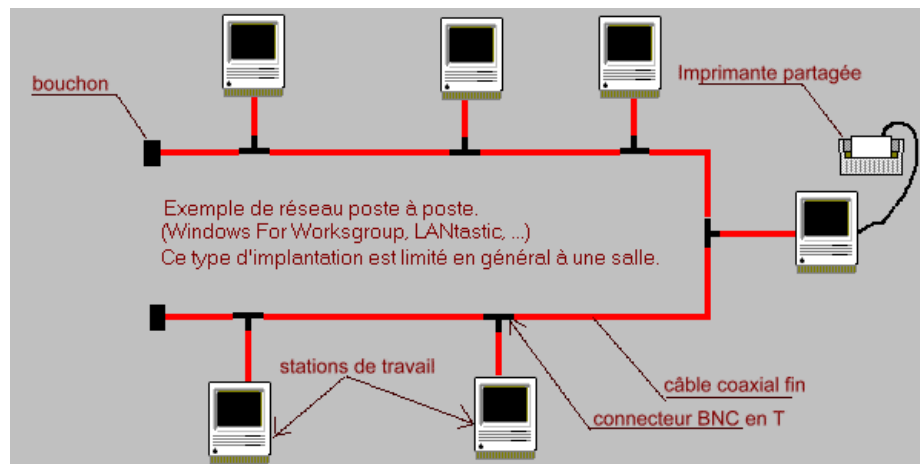


Figure 9 Le réseau en arbre

- Le réseau en boucle

Un réseau en boucle est un réseau où chaque nœud est relié à deux autres nœuds pour former un anneau. C'est un réseau décentralisé de type point-à-point.

Dans ce cas, un terminal peut être atteint ou émettre dans les deux directions de la boucle pour atteindre le site central.

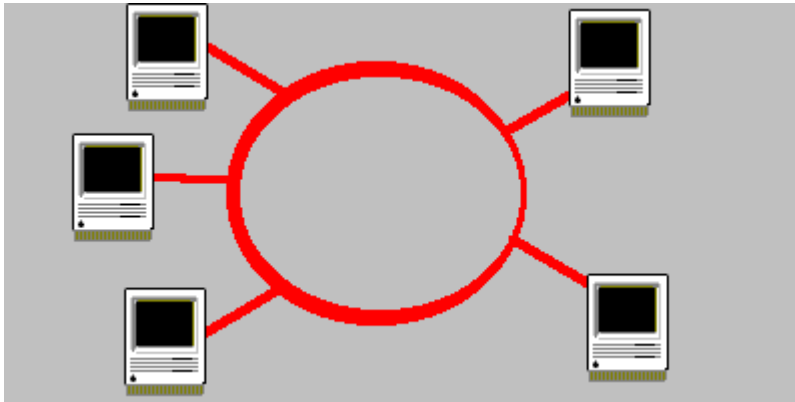


Figure 10 Le réseau en boucle

L'architecture du réseau local "en boucle" (Token Ring) s'est inspirée de ce type de réseau de communication.

- Le réseau en bus

Un réseau en bus est un réseau où tous les nœuds sont connectés sur le même support. C'est un réseau à diffusion.

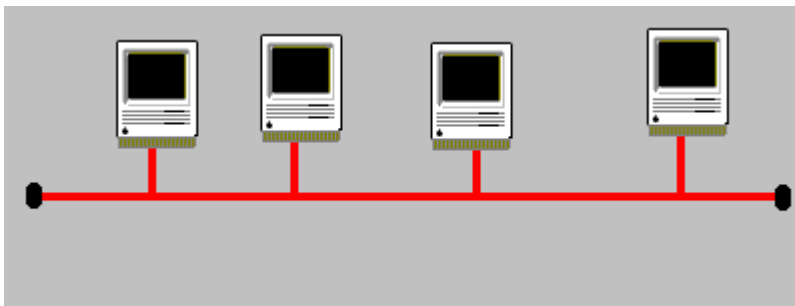


Figure 11 Le réseau en bus

LES TOPOLOGIES DES RESEAUX ETENDUS ET DES RESEAUX LOCAUX

Les réseaux étendus ont généralement une topologie obtenue à partir d'une combinaison des trois topologies suivantes: réseau (partiellement) maillé, réseau en étoile et réseau en arbre.

Les topologies les plus utilisées pour les réseaux locaux sont les bus et les anneaux.

Le support de transmission le plus employé dans les réseaux locaux est le câble coaxial, utilisé avec les deux modes de transmission suivants: bande de base ou large bande.

Les réseaux locaux offrent des transmissions plus rapides que les réseaux étendus, car on n'a pas les limitations des réseaux existants (par exemple les lignes téléphoniques). Les stations du réseau sont reliées directement par un support physique adapté (par exemple un câble coaxial). Les réseaux locaux fonctionnent généralement en diffusion, c'est-à-dire qu'une station désirant transmettre un message l'envoie sur le réseau, la station concernée par le message reconnaît son

adresse et par conséquent elle traite ce message. Les autres stations, ne reconnaissant pas leur adresse, ignorent le message.

Les réseaux locaux ont une longueur variant entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres. La distance limite les capacités à cause du temps de propagation des signaux électriques.

En pratique, les supports physiques utilisés sont: le câble coaxial qui permet d'atteindre des débits de l'ordre de 10 Mbps, la fibre optique qui permet des capacités entre 50 et 400 Mbps (5 Gbps en expérimentation). On utilise aussi des fils électriques (2 fils torsadés) ainsi que les ondes infrarouges (débit de 1,5 Mbps) et les micro-ondes radio, dont l'un des avantages est de ne pas nécessiter la pose de câbles.

LA NORMALISATION

Si la technologie semble à peu près au point pour permettre le développement de tous ces aspects, un problème important subsiste, celui de la normalisation.

En effet, pour pouvoir échanger de l'information, deux unités de traitement doivent suivre les mêmes protocoles, les mêmes règles de communication, qui sont assez complexes. Ces protocoles tiennent compte de tous les détails de la communication depuis les caractéristiques de la ligne physique jusqu'à la présentation de la communication.

Le fonctionnement d'un réseau nécessite l'élaboration d'un ensemble de règles définissant les protocoles de ce réseau.

LES PROTOCOLES

Pour communiquer, deux ordinateurs doivent adopter les mêmes règles régissant tous les aspects de la communication, l'ensemble de ces règles constitue un protocole.

Un protocole est l'ensemble des règles qui doivent être respectées afin de réaliser un échange d'informations entre ordinateurs.

Le protocole doit prévoir le traitement de tous les cas possibles.

L'établissement d'une communication entre deux ordinateurs relève d'une certaine complexité liée à l'ensemble des problèmes à résoudre.

Par exemple, il est nécessaire de tenir compte des différences entre le matériel et le logiciel de chaque machine.

Une manière de simplifier le problème est de le diviser. On applique ce principe en définissant plusieurs niveaux de communications et en établissant un protocole pour chacun de ces niveaux, ce qui nécessite la mise en place d'une standardisation.

Des travaux ont été entrepris pour définir des normes qui évitent ainsi la prolifération des protocoles de nature à compliquer les communications dans les réseaux hétérogènes.

Car le domaine des réseaux se développe rapidement et intensément. On assiste à une véritable prolifération de réseaux (Eam, Bitnet, Csnnet, Hepnet, Janet, Arpanet, Telepac...) et de standards (X.400, TCP/IP, Ethernet X25, Sna, Rscs, IEEE 802 ...).

Tandis que les constructeurs ont tendance à définir leurs propres protocoles, par exemple, Sna (IBM), Rscs (IBM), Decnet (Digital Equipment Corporation), etc., un certain nombre d'institutions et d'organisations internationales essayent de définir des standards. Nous citerons :

- le département de la défense américaine (DOD) qui a défini le protocole TCP/IP mis en œuvre par le réseau Arpanet ;
- les institutions internationales, le CCITT (Comité Consultatif International du Téléphone et du Télégraphe) qui définit des recommandations (par exemple, la série V concerne la transmission de données par téléphone et la série X concerne les réseaux publics de transmission de données) ;
- l'ISO (International Standards Organization) qui a défini le modèle OSI (Open Systems Interconnection) constitué de sept couches, que nous étudierons au paragraphe suivant ;
- les organisations professionnelles tel que IEEE.

LE MODELE ISO-OSI

Le modèle OSI (Open Systems Interconnection) a été conçu afin de permettre d'interconnecter un nombre quelconque de systèmes différents. Ce modèle, défini par l'organisation ISO à partir de 1975 pour aboutir en 1985 à une première version standard qui décrit des niveaux mais pas des normes. Son intérêt est de diviser l'ensemble des protocoles en sept couches indépendantes, entre lesquelles sont définies deux types de relations.

Les relations verticales entre les couches d'un même système sont des interfaces, et les relations horizontales relatives au dialogue entre deux couches de même niveau sont des protocoles définissant les règles d'échange. Chaque niveau d'un système fournit au niveau supérieur un certain nombre de primitives: la réalisation de chaque niveau est donc indépendante de celles des autres niveaux.

Les services rendus par chaque niveau sont transparents aux autres niveaux. Regardons à quoi correspond chaque niveau du modèle OSI.

- La couche physique (niveau 1):

Elle est la couche la plus basse. Elle décrit les caractéristiques électriques et les équipements de transmission (câbles, faisceaux hertziens...). Elle s'occupe de la connexion physique de la station au réseau et elle définit si la transmission est synchrone ou asynchrone. Elle s'occupe aussi des problèmes de modulation/ démodulation;

- La couche liaison (niveau 2):

Elle est appelée aussi couche ligne (data link), et a pour but de transmettre les données sans erreur. Les données sont des paquets de bits. Pour pouvoir détecter et corriger les erreurs, on structure ces données en trames (frames). En cas d'erreur, les données sont retransmises.

Le protocole HDLC (High-level Data Link Control) est un exemple de protocole de ce niveau. En plus du protocole de structuration, les réseaux locaux ont des protocoles particuliers de méthode d'accès tel le CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ou encore ceux faisant intervenir un jeton (token).

- La couche réseau (niveau 3):

Elle sert essentiellement à assurer la commutation et le routage des paquets de données entre les noeuds du réseau. Elle effectue aussi un contrôle de flux d'informations, permettant d'éviter la congestion (trop de paquets à traiter) et en déroutant, si nécessaire, les paquets sur d'autres noeuds. Cette couche est encore divisée en sous-couches, ce qui explique que plusieurs protocoles complémentaires sont généralement utilisés. Un exemple de protocole est X.25 (qui englobe aussi les niveaux inférieurs).

- La couche transport (niveau 4):

Elle est une couche de bout en bout: elle permet l'établissement, le maintien et la rupture de connexions de transport. Selon les fonctionnalités offertes par le réseau (les couches inférieures), c'est elle qui doit fournir les fonctions nécessaires à un service constant. Si les capacités des couches inférieures sont limitées, elle doit y pallier. C'est ainsi que l'on peut trouver dans cette couche le contrôle de flux des informations et la correction des erreurs. C'est cette couche qui assure, en outre, la segmentation et le ré-assemblage des messages. Elle s'occupe également des possibilités de multiplexage de plusieurs flux d'informations sur un même support.

- La couche session (niveau 5):

Elle permet d'établir une connexion logique entre deux applications. Elle assure l'organisation et la synchronisation du dialogue. C'est à ce niveau que l'on décide du mode de transmission: simplex, semi-duplex ou duplex;

- La couche présentation (niveau 6):

Elle s'occupe des questions de présentation (la syntaxe) des données. Elle s'occupe des conversions de code ou de format des données. Elle s'occupe aussi d'optimiser en compressant les données et de garantir une certaine sécurité en encryptant les données.

- La couche application (niveau 7):

Elle fournit les services et les interfaces de communication aux utilisateurs. Elle constitue donc l'ensemble des points d'entrée dans les programmes utilisateurs.

Les sept niveaux du modèle ISO-OSI peuvent être résumés de la façon suivante.

Le *niveau physique* permet d'envoyer des séquences de bits entre deux systèmes.

Le *niveau liaison* structure les séquences de bits et essaye de récupérer les erreurs de transmission.

Le *niveau réseau* s'occupe de l'acheminement, du routage et du contrôle de flux.

Le *niveau de transport* procure une fonction constante de réseau indépendant du niveau de session.

Le *niveau session* met en place et contrôle la connexion entre les deux processus communiquant.

Le *niveau présentation* permet des conversions variées et utiles.

Finalement, le *niveau application* est constitué par l'ensemble des primitives implantant les services offerts.

Les couches 1, 2, 3 et 4 sont orientées transmission alors que les couches 5, 6 et 7 sont orientées traitement.

Ce modèle OSI a été adopté par un ensemble de constructeurs, dont les plus grands qui se sont engagés à se conformer aux protocoles normalisés définis par l'ISO.

Tout en favorisant le développement du modèle OSI, IBM a développé son propre modèle appelé SNA (Systems Network Architecture). Les buts de ce modèle sont les mêmes que ceux du modèle ISO/OSI, mais il est adapté aux machines IBM. Les révisions successives du modèle ont abouti à une architecture proche de celle du modèle ISO-OSI.

CONNEXIONS ENTRE RESEAUX

Des réseaux ou des parties de réseaux locaux peuvent être reliés en utilisant un répéteur, un pont, un routeur ou une passerelle :

- un répéteur (repeater) permet de connecter deux réseaux au niveau physique, il travaille au niveau 1 du modèle OSI. Il a pour but uniquement de transmettre les bits d'un réseau à l'autre ;
- un pont (bridge) travaille au niveau 2 du modèle OSI, c'est-à-dire au niveau liaison. Il assure la transmission physique des informations (des paquets de bits) mais garantit aussi l'absence d'erreurs. Pour cela il doit décoder l'information contenue dans les premiers bytes de chaque paquet. Cela permet aussi de filtrer les paquets, ainsi un paquet ne traverse un pont que si le destinataire se trouve de l'autre côté du pont que l'émetteur ;
- un routeur (router) travaille au niveau 3 du modèle OSI, c'est-à-dire au niveau réseau. Il sait reconnaître et interpréter le protocole de ce niveau (TCP/IP par exemple) et il assure le routage des paquets entre différents réseaux ;
- une passerelle (gateway) est un dispositif permettant de relier deux réseaux entre eux, quelle que soit la nature de ceux-ci. Elle s'occupe de toutes les conversions nécessaires au passage d'un réseau à l'autre, ce qui n'est pas réalisé de manière transparente. Elle permet, entre autres, de relier un réseau local à un réseau étendu. Une passerelle

travaille généralement au niveau 7 du modèle OSI, c'est-à-dire au niveau de l'application.

PROTOCOLE HDLC

Le protocole HDLC (High-level Data Link Control) est un protocole de la couche liaison (niveau 2). Il est basé sur le bit (car un caractère peut consister en 6, 7 ou 8 bits) et ainsi toutes les informations sont considérées comme des séquences de bits. Ce protocole définit une structure de trame qui est composée des champs suivants :

- le fanion (flag) est une séquence de bits servant à délimiter le début et la fin d'une trame. Un même fanion peut servir de fermeture et d'ouverture de la trame suivante ;
- le champ adresse identifie la station réceptrice ;
- le champ commande indique le type de la trame (données, quittance signifiant bien reçu ou mal reçu) et contient le numéro de séquence de la trame (utile quand il y a plusieurs paquets) ;
- le champ information se compose d'une suite de bits de n'importe quelle longueur .
- le champ FCS (Frame Check Sequence) est une séquence de contrôle de la trame obtenue à l'aide d'un code cyclique (CRC). Cette séquence de contrôle porte sur les champs adresse, commande et information. Elle permet la détection d'erreurs mais pas la correction; ainsi en cas d'erreur il faut retransmettre.

A l'envoi d'une trame, on s'assure qu'aucun fanion n'est simulé à l'intérieur de la trame. Pour cela l'émetteur insère un bit 0 après toute séquence de cinq bits 1 consécutifs. Le récepteur effectue l'opération inverse en recevant le message (avant de vérifier s'il est correct, sans erreur). Il supprime tout bit 0 après cinq bits 1 consécutifs.

Pour détecter les erreurs dans les fanions, on remplit les temps entre les trames soit par des fanions, soit par un minimum de sept bits 1 consécutifs (cette séquence constituant un signal d'abandon). Les trames doivent avoir une longueur minimum de 32 bits entre

les fanions. Généralement, toute trame de données est suivie d'une trame de quittance indiquant si les données ont été bien reçues.

EXEMPLE DE RESEAU LOCAL: ETHERNET

Ethernet est un réseau local à diffusion développé par Xerox qui s'est associé avec les sociétés Intel et Digital pour en faire un standard (1980).

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- il se compose d'un câble coaxial unique ;
- le mode de transmission utilise est le mode bande de base ;
- la topologie est un bus ;
- il a un débit de 10 Mbps ;

- les messages ont un format similaire au format HDLC ;
- les adresses sont codées sur 47 bits, ce qui donne $2^{47} = 140$ trillions d'adresses. Chaque adresse est garantie unique au monde ;
- la méthode d'accès est CSMA/CD (expliquée dans le prochain paragraphe) ;
- un segment de câble peut avoir une longueur de 500 mètres, mais on peut augmenter la longueur du réseau en mettant des segments bout à bout à l'aide de répéteurs. On peut disposer au maximum 100 noeuds sur chaque segment et les connexions doivent être distantes d'au moins 2,5 mètres l'une de l'autre.

En général, les réseaux locaux ont une longueur limitée pour éviter d'avoir des temps de propagation trop longs des signaux électriques. Il est préférable, au lieu d'un grand réseau, d'avoir deux plus petits réseaux reliés par un pont (en fibre optique).

Le problème des réseaux locaux est le choix de la méthode d'accès aux stations du réseau. Le principal problème à résoudre est d'éviter que plusieurs stations envoient simultanément un message sur le réseau.

CONNEXIONS INTER-RESEAUX : INTERNET ET TCP/IP

Les réseaux se développent à travers le monde de manière indépendante avec le seul but de satisfaire les besoins d'un groupe spécifiques d'utilisateurs.

Comme les besoins varient considérablement, les réseaux résultants varient aussi considérablement. Ainsi certains utilisateurs ont besoin d'un réseau local très rapide alors que d'autres ont besoin d'un réseau étendu plus lent.

Pour tenter de résoudre le problème de connexions entre différents réseaux est apparue la notion "d'inter-network" ou généralement référencé comme Internet.

Internet définit un ensemble de protocoles, indépendants du réseau sous-jacent, ainsi qu'une méthode d'interconnexion physique entre réseaux.

Un développement de la notion d'Internet a été réalisé par l'organisation DARPA (Defense Advanced Projects Research Agency) connue pour son réseau Arpanet. Ce développement a donné lieu à un modèle appelé TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) du nom des deux protocoles les plus connus. TCP fournit un service de transport de bout en bout pour toute application, alors que IP est responsable du routage de l'information à travers le réseau.

D'autres protocoles sont aussi inclus tel que, par exemple, UDP (User Datagram Protocol) qui est aussi un protocole de transport sans connexion préalable, ARP (Address Resolution Protocol).

Ce protocole est structuré en quatre niveaux.

L'interface réseau (niveau 1 et 2 du modèle OSI), le routage (niveau 3 du modèle OSI), le transport (niveaux 4 et partie du 5 du modèle OSI), et le niveau application (niveaux 5, 6 et 7 du modèle OSI).

Une version Unix de ces protocoles a été développée rapidement, ce qui a eu pour effet de permettre la connexion d'un grand nombre d'universités.

Un certain nombre d'applications sont basées sur des protocoles TCP/IP de haut niveau et peuvent être considérées comme des services universels :

- courrier électronique (SMTP : Simple Mail Transfer Protocol) ;
- transfert de fichiers (FTP : File Transfer Protocol) ;
- émulation d'un terminal (Telnet) ;
- gestion de réseaux (SNMP : Simple Network Management Protocol).

On peut aussi citer le protocole NFS (Network File System), développé par la société SUN Microsystems pour les stations Unix et basé sur le protocole IP et qui permet d'accéder facilement à des fichiers se trouvant sur d'autres machines du réseau.

METHODES D'ACCES DANS LES RESEAUX LOCAUX

Le modèle ISO/OSI n'est qu'un modèle et il n'existe pas forcément de protocole normalisé pour chacune des différentes couches.

C'est le cas pour les réseaux locaux où il n'existe des standards que pour les couches de bas niveau (principalement 1 et 2).

Au niveau 2, existe le protocole HDLC qui est largement utilisé, mais qui ne résout pas les problèmes d'accès aux stations du réseau. Le niveau 2 se décompose donc en deux sous-niveaux, la structuration des informations et la méthode d'accès.

Alors que le protocole HDLC normalise la structuration des informations (cf. VII), un certain nombre de normes ont été définies pour les méthodes d'accès.

- Méthode d'accès CSMA/CD

Le protocole de communication CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), dont la signification est "écoute porteuse, accès multiples avec détection de collision", permet de traiter les collisions occasionnées par l'envoi simultané de plusieurs messages sur le réseau. La stratégie utilisée pour le traitement des collisions n'est pas contrôlée mais est aléatoire.

Ce protocole, le plus utilisé pour la topologie bus, est basé sur une liberté totale d'accès accordée à toutes les stations. Celles-ci peuvent émettre des messages à tout moment en respectant le protocole.

Dans un réseau local, le principe est le même, avant d'envoyer un message, une station désirant émettre commence par écouter si aucun message ne transite sur le réseau. Ensuite, le message est envoyé, mais la station reste à l'écoute car il se peut qu'une collision se produise si une autre station envoie un message en même temps. Dans ce cas, au moment où elles s'aperçoivent qu'il y a un autre message transitant sur le réseau, elles cessent immédiatement la transmission. Chaque

station attend pendant un temps aléatoire et relance le processus, c'est-à-dire écoute et attend que le réseau soit libre, etc.

En pratique, le taux de collisions est relativement faible, il dépend naturellement du nombre de stations et de la charge du réseau.

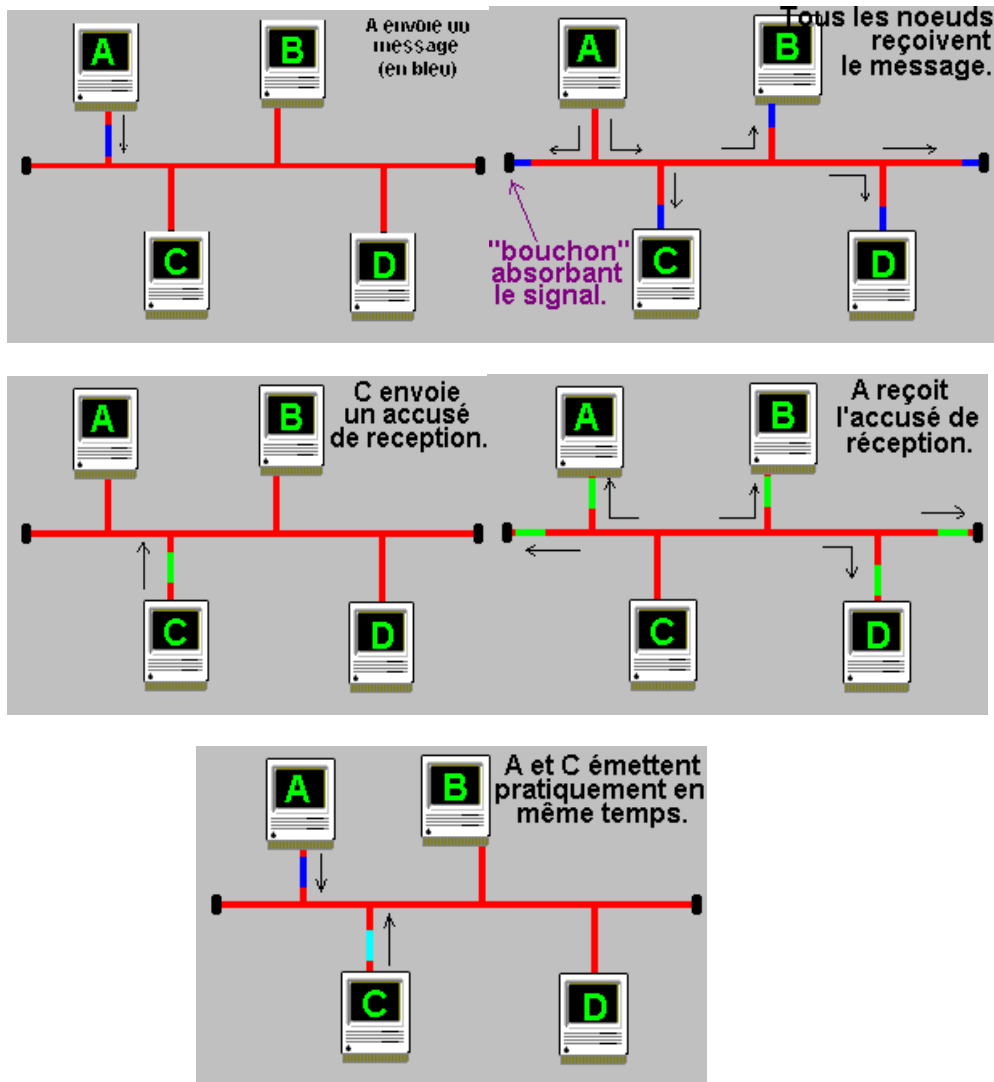


Figure 12 La méthode d'accès CSMA/CD

- Méthodes d'accès à jeton

Ces méthodes d'accès, basées sur la circulation d'un jeton (token), sont des méthodes déterministes empêchant les collisions de se produire. Le principe de base utilise un jeton libre (qui est une séquence de bits prédéfinie) circulant librement sur le réseau. Toute station désirant émettre un message doit s'emparer du jeton. Dès qu'elle l'a pris, elle peut émettre son ou ses messages librement. Quand elle a terminé d'émettre, elle renvoie le jeton sur le réseau à la station suivante. Si le jeton est pris par une autre station, il faut attendre. Ainsi, il n'y a pas de risque de collision. Cette méthode peut être employée pour des réseaux en bus ou en anneau.

Cette technique est utilisée dans l'anneau à jeton (token ring) d'IBM qui permet des débits de l'ordre de 18 Mbps.

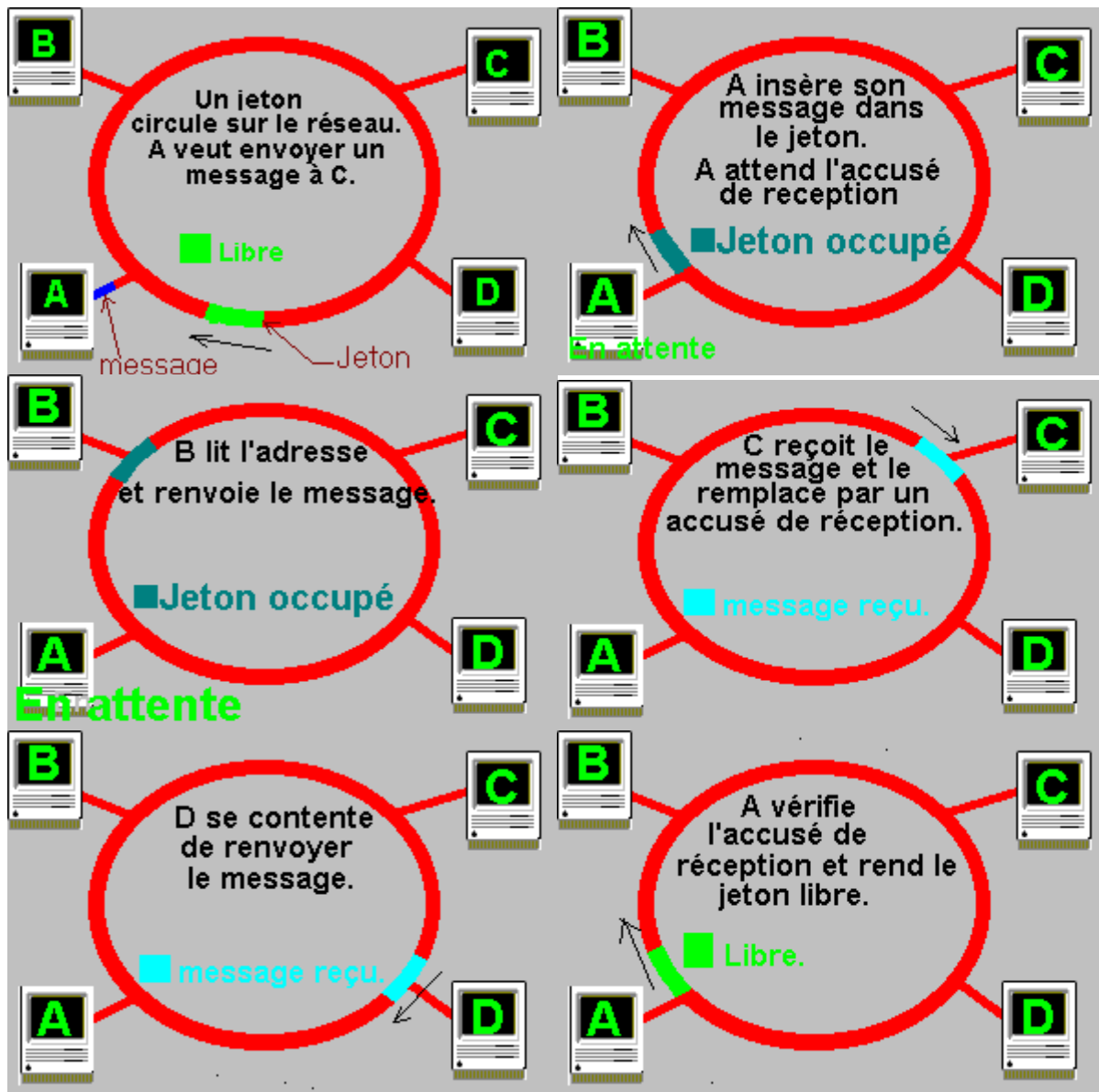


Figure 13 La méthode d'accès à jeton

Le Standard FDDI

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) est un standard pour réseaux locaux ou métropolitains. Ce standard est basé sur une structure d'anneau à jeton ainsi que sur l'utilisation de fibres optiques pour le câblage. Ce protocole doit permettre d'accroître considérablement la performance, la sécurité et la fiabilité des réseaux locaux. Il couvre les deux premiers niveaux du modèle OSI.

Le principal avantage de la fibre optique et de la transmission de signaux lumineux par rapport aux fils de cuivre et des signaux électriques provient de la bande passante disponible. Le standard

FDDI définit une bande passante de 100 Mbits par seconde (Mbps) alors qu'un réseau de type Ethernet est prévu pour 10 Mbits/s.

Parmi les autres avantages de FDDI, notons que les stations sur le réseau peuvent être séparées par de longues distances jusqu'à deux kms). La distance maximale prévue pour de tels réseaux est d'une centaine de kms.

La technologie FDDI repose sur l'utilisation de deux anneaux à jeton pour garantir une bonne fiabilité. En mode normal d'utilisation seul un des anneaux est utilisé. Le second n'est utilisé qu'en cas de problèmes sur le premier anneau. Les informations circulent alors dans le sens opposé à celui du premier anneau.

Le problème majeur dans l'utilisation de fibres optiques provient de la difficulté à réaliser des connexions.

- Le concept de client serveur

Une utilisation importante des réseaux est la coopération entre applications.

Le concept de base utilisé pour la coopération est celui de client serveur. Il est utilisé comme modèle de base pour le développement d'applications distribuées.

Le terme serveur s'applique à tout programme qui offre un service qui peut être atteint à travers le réseau. Un serveur reçoit des requêtes à travers le réseau, il les traite et il renvoie les résultats au demandeur (le client).

Le terme "client" s'applique à tout programme qui envoie une requête à un serveur et attend les résultats.

EVOLUTION DES RESEAUX

RESEAU NUMERIQUE A INTEGRATION DE SERVICES (RNIS)

Actuellement, les réseaux de télécommunications existants permettent de transporter une grande variété d'informations sous des formes diverses comme la parole (téléphone), les messages (télex), les images (télécopie, télévision) ainsi que les données informatiques.

Pour pouvoir transporter tous ces types d'informations, plusieurs réseaux ont été mis en place: le réseau téléphonique, le réseau télex et divers réseaux spécialisés permettant l'échange d'informations entre ordinateurs. Le plus important est évidemment le réseau téléphonique basé sur la transmission de signaux analogiques.

Les réseaux du futur seront basés sur la transmission numérique. Ils utiliseront des câbles coaxiaux, des fibres optiques et des satellites pour transmettre des données, des images ainsi que des conversations téléphoniques.

Pour les réseaux étendus, l'évolution est liée aux services publics (PTT) qui sont en train de normaliser le RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services, ou ISDN : Integrated Services Digital Network), dont le but est de fournir une liaison numérique de bout en bout tout en

intégrant un certain nombre de services. Chaque utilisateur a un seul numéro d'abonné (actuellement un utilisateur a un numéro de téléphone, un numéro de télex, ...) et une seule prise est nécessaire. Il suffira de préciser le service demandé lors de l'établissement d'une communication. Il sera possible aussi de changer de service pendant la communication. Ce système sera plus souple et moins coûteux.

Le débit autorisé par ce nouveau système ne permettra pas de transporter des informations très complexes (tel que les images) en temps réel. Les débits requis pour différents types de messages sont les suivants :

Vidéotex	1.200 bps
Téléphone	64 Kbps
Hi-fi	1 Mbps
Télévision	2 à 140 Mbps

On constate que les débits varient considérablement selon la nature des informations. Cela signifie qu'un réseau devrait pouvoir s'adapter et donc être multi-débit.

Les réseaux RNIS sont déjà bien implantés dans la plupart des pays européens (par exemple, en France avec Numéris et en Suisse avec Swissnet) ainsi qu'aux USA. Par contre les liaisons internationales posent encore quelques problèmes étant donné que chaque pays a choisi des options particulières pour l'implantation de son réseau.

Physiquement, le RNIS offre la possibilité de transmettre diverses informations sous forme digitale. C'est un réseau riche en promesses, il ne reste donc plus qu'à concrétiser, c'est-à-dire à développer des équipements de raccordement, des services, à informer les utilisateurs et à prendre en compte ce réseau dans les architectures informatiques.

- Les services

Plusieurs types de services sont ou seront proposés sur le réseau RNIS.

D'abord les services de base, qualifiés de "services support", comprennent la transmission de données et le service téléphonique. Des compléments de services permettent d'augmenter des services de base, tels que :

- identification de l'appel (affichage du numéro du demandeur)
- sous-adressage des terminaux (dans le cas de plusieurs terminaux reliés à un même raccordement) ;
- portabilité (suspension temporaire d'une communication pendant trois minutes pour la reprendre sur un autre équipement terminal) ;
- indication du coût ;
- transfert automatique d'un appel vers un autre numéro ;
- rappel automatique sur abonné occupé,
- - appel avec carte de crédit,
- - conférence à n participants.

Enfin les téléservices devraient se développer rapidement, par exemple, la transmission de fichiers d'images fixes ou animées, la télécopie de documents, la visiophonie (liens téléphoniques avec écran de contrôle montrant le correspondant), la visioconférence (échange des images vidéo entre plusieurs correspondants).

- Ligne d'abonné

Les équipements terminaux disponibles pour les abonnés sont très variés et vont du simple appareil téléphonique à un commutateur privé pouvant raccorder quelques milliers de postes. Pour satisfaire la demande d'une clientèle variée, plusieurs types de raccordements sont possibles. Initialement, chaque abonné pourra disposer d'un accès de base à 144 Kbits/s composé de deux canaux B de 64 Kbits/s pour la transmission vocale ou de données et d'un canal D de 16 Kbits/s (utilisé pour la signalisation). Pour des installations plus importantes, il faut utiliser un accès primaire à 2 Mbits/s qui offre 30 canaux B à 64 Kbits/s et un canal D cette fois à 64 Kbits/s.

- RNIS à large bande

La première version du RNIS est relativement limitée en capacité mais son implantation ne requiert pas de changer le câblage des abonnés. Son successeur, le RNIS à large bande, déployé à la fin des années 90, permet de transporter tous les types d'informations précités (comme les images de télévision haute définition).

Son implantation a demandé un profond changement du réseau de transport, jusqu'au poste de chaque abonné. Les satellites et les fibres optiques fournissent les moyens matériels nécessaires à sa réalisation. Le multiplexage permet d'utiliser au mieux tous ces éléments. Il faut trouver un mode de transfert (commutation + multiplexage) qui soit capable d'offrir les capacités requises en

large bande: c'est le mode de transfert asynchrone qui permet d'associer un très haut débit avec une grande souplesse d'utilisation.

EVOLUTION DE LA COMMUTATION PAR PAQUETS

L'évolution de la commutation par paquets s'effectue dans deux directions: augmentation des performances et possibilité de transmission isochrone, c'est-à-dire pouvoir transmettre des informations telles que la voix.

L'augmentation des performances se réalise en augmentant le débit de transmission et simplifiant le protocole. La simplification du protocole a donné naissance au relais de trames. Ce nouveau type de commutation est plus performant que la commutation par paquets mais il ne permet toujours pas de transmettre la voix.

Pour permettre le mixage de données et de la voix sur une même ligne de transmission, le relais de trames a évolué en une nouvelle technologie: le relais de cellules.

- Relais de trames

Le relais de trames (frame relay) est une simplification de la commutation par paquets: il utilise le même protocole de routage, mais il a supprimé les protocoles de contrôle d'erreurs et de flux. La couche réseau est donc vide et la couche liaison récupère la gestion des communications. Dans la commutation par paquets le traitement des erreurs s'effectue à plusieurs niveaux (2 et 3). Avec l'avènement des fibres optiques qui assurent une meilleure fiabilité et un faible taux d'erreurs, une telle redondance n'est plus nécessaire. La gestion d'erreurs est donc simplifiée à l'extrême, ce qui devient le point faible de cette technique.

Le relais de trames est approximativement 4 à 10 fois plus rapide que la commutation par paquets. Il se relève particulièrement bien adapté pour l'interconnexion des réseaux locaux.

- Relais de cellules

La commutation de circuits et la commutation par paquets ont des avantages propres relativement incompatibles. La commutation de circuits permet de transporter des informations isochrones telles que la voix alors que la commutation par paquets est plus adaptée à la transmission des données. Le relais de cellules (cell relay) est un compromis de ces deux types permettant de cumuler les avantages sans les inconvénients (manque de flexibilité pour le premier et impossibilité de transmettre la voix et la vidéo pour le dernier).

Le principe de base du relais de cellules est de décomposer les informations en petits paquets de longueur fixe et de déterminer leur routage lors de la requête de connexion. La longueur fixe des cellules permet d'avoir des commutateurs simples et performants et leur petite taille permet d'émuler un circuit isochrone car la vitesse de transmission est constante. Les cellules sont aussi des paquets qui permettent d'établir des connexions virtuelles qui peuvent être multiplexées avec des débits variables adaptés aux caractéristiques de la source.

L'information transmise à travers un réseau de cellules est transportée dans des paquets de taille fixe (53 bytes) appelés cellules. Les cellules sont composées de deux parties: un champ entête de

5 bytes et un champ information de 48 bytes. L'entête contient un identificateur logique utilisé pour le routage des cellules dans le réseau.

La route des cellules est établie lors de la requête de connexion. Des tables de routage sont nécessaires dans les commutateurs. Chaque cellule est routée par les commutateurs qui associent l'identificateur de chaque cellule à une route. Les cellules émanant d'un expéditeur sont envoyées séquentiellement sur le réseau: elles suivent la même route, ce qui n'était pas forcément le cas pour les paquets. A la réception la séquence initiale est ainsi respectée.

Le relais de cellules est aussi une technique de multiplexage. Sur le réseau circule un flot continu de cellules pleines ou vides suivant la charge du réseau. Lorsqu'une source désire émettre des informations, elle les décompose en petits paquets de 48 bytes qu'elle dépose dans les cellules à son propre rythme de manière asynchrone. Il y a donc découplage entre la vitesse du réseau et la vitesse de transfert des informations de l'utilisateur.

Le principe du relais de cellules est principalement exploité par la technologie ATM (Asynchronous Transfer Mode), choisie par le CCITT pour être utilisé dans le RNIS à large bande.

MODE DE TRANSFERT ASYNCHRONE - LA TECHNIQUE ATM

Il existe aujourd'hui, dans le monde des réseaux, un grand nombre de type de trames (Ethernet, TCP/IP, etc...) et de paquets (dont X25), qui rendent obligatoires l'utilisation de techniques de conversion ou d'encapsulation des données pour pouvoir les échanger d'un type de réseau à un autre.

Par ailleurs, les hauts débits, comme le Fast Ethernet (100BaseT, soit 100 Mbits/s sur une paire torsadée), autorisent l'accès à des performances élevées, si le trafic n'est pas trop intense. Ces technologies se positionnent comme une étape de transition avant la généralisation de l'A.T.M.

L'A.T.M. (Asynchronous transfer mode) permet d'unifier toutes les trames en 1 seule sorte. Il est en passe de devenir le mode de communication universel pour toutes les catégories de données et doit enfin abolir la barrière qui sépare le monde des réseaux locaux (L.A.N.) et celui des réseaux étendus (W.A.N.).

Cette technologie a pour ambition de fournir le support à des communications hauts débits à délais constants quelle que soit l'information transportée; elle repose sur une technique de transmission de paquets multiplexée et adaptée au transport de données mais également ouverte aux applications téléphoniques et audiovisuelles.

L'objectif est atteint par l'utilisation de paquets de taille fixe appelés cellules, circulant de façon asynchrone sur des circuits virtuels commutés. Cette norme est indépendante du support physique qui en limite actuellement le débit; l'offre A.T.M. actuelle va de 25 à 622 Mbits/s. Or, il subsiste encore aujourd'hui des problèmes, la paire téléphonique pouvant s'ouvrir au débit de 155 Mbits/s, qui représente le débit nominal de l'offre A.T.M. actuelle.

La technique ATM, basée sur le concept de relais de cellules, conjugue la souplesse de la commutation de paquets mais avec le délai de transmission court et constant de la commutation par circuit. Elle permet ainsi de transmettre tout type d'information (données, images et voix).

La technique ATM facilite l'exploitation des services de transport de quelques kilobits à plusieurs centaines de mégabits de débit en fonction des besoins. Les premières interfaces normalisées sont des interfaces à 155 et 622 Mbps.

Chaque paquet de 48 bytes spécifique à une cellule se décompose en différents champs suivant le type d'informations (principalement données ou voix). Les principaux champs sont :

- le numéro de séquence ;
- un code d'erreur CRC ;
- et un champ pour les données proprement dites qui varie de 44 à 47 bytes suivant les autres champs présents.

RESEAUX LOCAUX SANS FIL

Dans certains cas, le câblage d'un réseau local peut s'avérer difficile voire impossible. Les réseaux sans fil (CLAN : Cordless LAN) apportent une solution relativement facile à mettre en oeuvre puisque aucun câblage n'est nécessaire. Ce type de solution a un coût de revient plus élevé qu'un réseau local câblé, c'est pourquoi ils ne sont utilisés que dans des cas particuliers.

On distingue deux types de transmission dans les réseaux sans fils: la transmission par ondes radio et la transmission par infrarouge. Suivant la plage de fréquence utilisée dans les transmissions par ondes radio le débit peut varier de quelques milliers à plusieurs mégabits par seconde. Plus on monte en fréquence plus le débit augmente mais les produits sont aussi plus coûteux et les obstacles limitent la portée. De plus peu de fréquences sont disponibles. La transmission par infrarouge permet des débits de l'ordre de 10 Mbits/s et peut être mise en oeuvre très rapidement. L'inconvénient est que les équipements doivent être en visibilité totale, un seul obstacle sur le trajet du rayon suffit à couper la transmission.

RESEAUX A TRES HAUT DEBIT

L'évolution des réseaux ne serait pas complète si l'on ne mentionnait pas l'apparition des réseaux à très haute vitesse de l'ordre du gigabit par seconde.

Les fibres optiques sont utilisées comme support de transmission.

Aucun protocole standard n'est encore défini pour ce type de réseau, ce sont des protocoles propriétaires qui permettent de faire des connexions point à point et qui nécessitent des équipements matériels spécifiques très perfectionnés.

LE "PC" CONTRE LE "NC"

Pour une entreprise, la gestion d'un parc de PC ("Personal Computer") peut représenter des coûts de fonctionnement relativement élevés et son administration difficile.

L'option consistant à utiliser des "Network Computer" peut offrir une solution économiques.

Le "Network Computer" (l'ordinateur en réseau) est une machine sans disque dur et qui fonctionne reliée à un serveur. Le serveur fournit toute la matière grise, logiciels et données.

En entreprise, l'argument "prix" a tendance à jouer en faveur du "NC", à l'achat comme pour la maintenance qui en est facilitée.

Au point que la société Microsoft s'est décidée à développer une solution plus ou moins comparable, à base de "terminaux Windows".

LA MESSAGERIE

La messagerie électronique (échange de messages) ne se limite pas au seul courrier électronique (Electronic Mail - "E-Mail") ou à celui des « petits » messages, du type des messageries spécialisées du Minitel. Il s'agit de l'envoi ou de la réception de données hétérogènes (messages, textes, images, sons, etc...) entre partenaires d'un même réseau ou d'un "réseau de réseaux" (Internet au niveau mondial). Elle facilite et accélère ainsi la circulation et la distribution d'informations à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise.

A l'intérieur de l'entreprise les messageries reposent le plus souvent sur des réseaux locaux (Local Area Network - L.A.N.); par exemple, Microsoft en a intégré une dans le système d'exploitation Windows for Workgroups; Novell Netware et Lan Manager disposent également de messagerie. Ainsi, on trouve déjà des applications entraînant des gains de productivité sensible, telle que IRIS (adaptation de CCMail de Lotus) au ministère de l'Economie et des Finances, qui s'applique en fait à un Metropolitan Area Network (M.A.N.).

A l'extérieur de l'entreprise (on parle alors de Wide Area Network - W.A.N.), ce sont les réseaux qui respectent la norme X400 (cf. infra) qui sont utilisés comme support de messagerie. Pour les liaisons internationales, ils peuvent utiliser un satellite de télécommunications, à l'exemple du ministère de la coopération.

Dans le cas de l'utilisation de la norme X400, les données à transférer - représentatives de documents papier – sont :

- ◆ déposées, par l'émetteur, dans une boîte aux lettres virtuelle ;
- ◆ acheminées par le réseau de l'opérateur (en France, ATLAS 400) ;
- ◆ retirées par le destinataire dans sa propre boîte aux lettres électronique.

Le rôle de l'opérateur consiste à :

- certifier l'échange (comme un recommandé: avec AR) ;
- empêcher sa répudiation par le destinataire, voire l'émetteur ;
- garantir l'intégrité des données.

Par ailleurs, l'opérateur, de par sa fonction d'intermédiaire, évite tout contact entre les 2 partenaires, leur évitant ainsi un accès réciproque direct à leurs systèmes informatiques respectifs.

Dans le cas particulier du ministère de l'Economie et des Finances, ce protocole s'appelle TEDECO, développé par un constructeur - BULL -, des prestataires de service - CAP SESA et TRANSPAC - et le C.I.I.B.A. (Comité Interministériel pour Informatique et la Bureautique dans l'Administration).

Le logiciel fonctionne sous environnement MS-DOS et Windows et nécessite des communications de type X25 ou X32.

FIABILITE ET SECURITE DU RESEAU

La fiabilité des communications repose sur la bonne transmission des informations.

Les erreurs de transmission posent un problème important dans les réseaux.

On estime le taux d'erreur moyen à 1 bit sur 1012 bits dans les réseaux locaux, et 1 bit sur 105 dans les grands réseaux.

Des méthodes existent qui permettent de détecter et de corriger certaines erreurs.

Par ailleurs, la mise en place d'un réseau soulève les questions liées à la sécurité, dans la mesure où il est toujours possible de pirater (par dérivation ou interception radio) une ligne de communication.

Certaines applications sensibles doivent donc veiller, pour ce qui concerne les données transitant sur le réseau, à empêcher leur :

- lecture ou copie (confidentialité), en :
 - effectuant un contrôle d'authentification (identifiant et mot de passe correspondant) ;
 - assurant un contrôle d'accès (liste des ressources autorisées) ;
- ♦ modification ou altération (intégrité), par :
 - des techniques de chiffrement (ou cryptage); les informations sont alors cryptées à l'émission et décryptées à la réception, selon des méthodes qui sont, aujourd'hui, très fiables mais néanmoins rapides
 - des procédés de scellement le « sceau » (clé numérique cryptée) transmis étant comparé avec le « sceau » recalculé.

LES APPLICATIONS DE LA TELEINFORMATIQUE

LE VIDEOTEX : LE VIDEOTEX DIFFUSE

Le vidéotex est un service de communication permettant de transmettre à un utilisateur des pages de textes ou de dessins visualisées sur un écran identique à celui d'un téléviseur.

La notion vidéotex recouvre un matériel, une norme et les prestations.

Il se partage en deux classes: le vidéotex diffusé et le vidéotex interactif.

Le vidéotex diffusé est un service où un ensemble limité de pages organisées en forme de magazine, et transmis par un réseau de type télévision (réseau hertzien ou câblé) simultanément à un grand nombre d'abonnés qui choisissent l'information désirée par sélection d'une page dans le flux transmis: par exemple, Antiope diffusée par T.D.F., Prestel exploité en Angleterre.

Antiope (Acquisition Numérique et Télévisualisation d'Images Organisées en Page d'Ecriture) est un service exploité depuis 1976 par T.D.F. sur le réseau de diffusion Didon et par les P.T.T. sur les réseaux R.T.C. et Transpac.

Il utilise les réseaux de télévision pour transmettre en supplément ou en remplacement des images de programmes habituels, des textes et des schémas codés sous forme numérique. Ces informations sont visualisées chez l'utilisateur sur un téléviseur (noir et blanc ou couleur) équipé d'une "boîte noire" qui décode les signaux reçus. Un petit clavier sert à l'utilisateur pour sélectionner les pages reçues (jusqu'à 13.000 pages).

Les caractéristiques essentielles de la grande diffusion d'Antiope (mise à jour instantanée, grand nombre d'utilisateurs sans risque de saturation du réseau) sont complétées par la souplesse et la facilité d'utilisation. D'une part, l'utilisateur reste maître en permanence du choix des rubriques, de sa vitesse de lecture, d'autre part, aucune formation préalable n'est nécessaire.

Les applications d'Antiope sont nombreuses: économiques (Antiope-Bourse), météorologiques (Antiope-météo), circulation routière, tourisme ...

LE MINITEL : LE VIDEOTEX INTERACTIF

Le Minitel utilise le service Télétel, qui est le système français de vidéotex interactif.

Le réseau de vidéotex interactif est constitué par un terminal "Minitel" et par une ligne téléphonique. Dans le cas où l'abonné possède un téléviseur grand public, un adaptateur est proposé par les P.T.T.

Spécificité française, à défaut de pouvoir prétendre être considéré comme un véritable ordinateur communicant, le Minitel (dont la vitesse, la puissance, l'étendue des contenus accessibles sont singulièrement plus limitées) est, technologiquement, un terminal de vidéotex de petit format avec écran de visualisation noir et blanc équipé d'un clavier alphanumérique.

Les terminaux, les serveurs et le réseau de transmission constituent les composantes du réseau vidéotex interactif.

Il présente un plus grand intérêt car, tout en décentralisant l'information, il permet son exploitation par la mise en oeuvre de recherches présentées sous forme de questions à choix multiples.

Couplé à un téléphone, il dispose d'un modem grâce auquel il reçoit l'information débitée à 1200 bauds et émet de l'information fournie par l'utilisateur à 75 bauds.

L'accès s'effectue en composant le numéro d'appel du centre serveur Télétel.

Il permet à l'utilisateur la consultation de services "en ligne" et l'accès à des serveurs de banque de données, la messagerie électronique, à l'annuaire électronique, etc ... et d'effectuer des transactions.

LES COMPOSANTS

L'utilisateur accède à l'information détenue par le serveur au moyen du réseau de transmission qui est en France, soit le réseau téléphonique commuté (RTC), soit Transpac.

Le point d'accès au réseau de transmission s'appelle P.A.V. (Point d'Accès Vidéotex).

- Le point d'accès vidéotex

Il sert d'interface entre la liaison Minitel et le réseau de transmission. Il accomplit différentes fonctions :

- création/abandon des circuits virtuels reliant l'abonné au centre serveur ;
- mise en paquet Transpac de l'information échangée (assemblage/désassemblage) ;
- gestion des communications au niveau logique (envoi des messages Transpac, sélecteur du service demandé, envoi de l'écran d'accueil ...) ;
- édition du texte local (analyse syntaxique de commandes, etc ...).

- Le serveur

C'est l'organisme exploitant un système informatique qui permet à son abonné de consulter et d'utiliser directement les informations. A la base du système informatique, on trouve un mini ou micro-ordinateur ou un gros ordinateur. Le nombre d'accès simultanés au serveur et le temps de réponse à une requête servent de critère de classification du serveur en mini, micro ou méga-serveur.

Le temps de réponse à une requête dépend essentiellement du logiciel qui doit :

- ♦ assurer l'accès aux pages selon les différents critères (mots-clés, ...) et le parcours de la base de différentes façons arborescentes, séquentielle, directe, ;
- ♦ saisir et traiter les données fournies par l'utilisateur en temps réel ;
- ♦ fournir les statistiques de consultation, ... ;

Différents modèles de Minitels ont été mis en service.

- Le Minitel 1 Bistandard

Dernier-né dans la gamme des Minitels, le Minitel 1 Bistandard, proposé par France Télécom, est une nouvelle génération de Minitel qui, tout en restant consacré à l'usage des applications Télétel, accroît la facilité d'accès à la consultation des bases de données ASCII les plus répandues, grâce à son mode 80 colonnes.

Son mode privilégié est le mode vidéotex, dans lequel il se comporte comme un Minitel de base.

Le Minitel 1 Bistandard intéresse tout particulièrement les entreprises, mais aussi les professions libérales, les agriculteurs, les commerçants, qui ont accès aux services et banques de données disponibles à la norme ASCII, tant en France qu'à l'étranger.

- Le Minitel 1 Dialogue

Le Minitel 1 Dialogue est destiné aux personnes handicapées qui ne peuvent utiliser pleinement le téléphone.

Ce Minitel permet d'émettre des messages préparés sur l'écran grâce au clavier, et de les transmettre à tout usager équipé d'un Minitel et de recevoir aussitôt la réponse.

Ainsi, le malentendant pourra donc parler à son correspondant, qui lui répond par écrit.

- Le Minitel 10

Ce Minitel, qui est doté d'un poste téléphonique dans son clavier détachable, ainsi que d'un numéroteur et d'un agenda électronique, ajoute aux fonctions du Minitel celles d'un poste téléphonique moderne.

Equippé d'une mémoire de 20 numéros téléphoniques et des services Télétel, il permet l'appel simplifié du correspondant, la numérotation au clavier, l'appel sans décrocher le combiné, etc ...

- Le Minitel 20

Le Minitel 20 permet d'ouvrir la micro-informatique au monde du vidéotex et de la téléphonie.

La connexion du Minitel 20 à un micro-ordinateur le transforme en un terminal de communication destiné à tous les professionnels cadres, employés, professions libérales, artisans, commerçants, entreprises de toutes tailles.

Les fonctions de la version de base du Minitel 20 sont :

- La communication :
En version de base, le Minitel 20 dispose de deux lignes téléphoniques banalisées, d'un répertoire téléphonique étendu, d'une réception automatique d'appels, d'un modem X23 (1.200-75 bauds réversible) avec la possibilité d'utiliser un mode externe (jusqu'à 19.000 bauds), une possibilité d'afficher des pages de 40 à 80 colonnes ainsi que des graphiques.
Le Minitel 20 est bimode, 40 colonnes en mode Télétel et 80 colonnes en mode ASCII.
- La connectique :
Outre un connecteur pour des cartouches externes et un connecteur pour un boîtier d'extension, le Minitel 20 dispose d'une prise péri-informatique et d'une sortie pour imprimante ou pour un modem V24.

♦ Les traitements locaux :

Dans sa version de base, les logiciels suivants (outre tous ceux liées à l'exploitation du terminal) seront intégrés: mémorisation de pages vidéotex, éditeur de texte, logiciel de gestion de messagerie associé à une mémoire sauvegardée.

La connexion de cartouches externes accroît les possibilités de traitement grâce aux progiciels suivants :

5. logiciel intégré : tableur, gestion de fichiers, éditeur, outil graphique ;
6. émulation simplifiée des terminaux téléinformatiques les plus courants et des autres normes vidéotex: Prestel, Bildschirmtext, etc ... ;
7. extension du répertoire téléphonique et télématique ;
8. extension des capacités de messagerie: programmation avec possibilité de liste de diffusion et mémorisation (sauvegardée) d'un nombre important de messages.

LES TARIFICATION DU SERVICE D'ACCES TELETEL (SAT)

Le Service d'Accès Télétel offre une tarification des communications indépendante de la distance, une large gamme de tarifs, et propose plusieurs possibilité d'accès aux services.

Le fournisseur de service devra choisir, en fonction de la nature de son service et de sa stratégie commerciale, parmi ces possibilités.

Le coût d'une communication entre un utilisateur et un service Télétel contient toujours deux éléments :

- ♦ le coût du transport de l'information de bout en bout, c'est à dire le coût "réseau", qui revient à France Telecom et qui est indépendant de la distance ;
- ♦ le coût du service offert, c'est à dire le coût "prestation" qui revient au fournisseur du service.

La répartition de la prise en charge de ces coûts entre l'utilisateur et le fournisseur de service s'organise en trois "modes" :

- tarification "au demandé" ;
- tarification "au demandeur" ;
- tarification de type "kiosque".

- La tarification "au demandé"

Le coût du transport de l'information peut être pris en charge totalement par le fournisseur de service: l'utilisateur ne paie alors aucun coût réseau.

Une deuxième possibilité consiste, pour le fournisseur de service, à prendre en charge la part la plus importante du coût du transport, correspondant au coût du réseau Transpac; l'utilisateur ne paie alors que le complément, c'est à dire le prix d'une communication téléphonique locale.

Enfin, le coût du service peut être fixé par le fournisseur du service qui le facture directement à l'utilisateur.

La tarification "au demandé" présente les avantages au fournisseur de service de centraliser le coût "réseau" qu'il paie à Transpac, de déterminer et de gérer complètement le coût "prestation". Ce mode de tarification permet, par exemple, aux entreprises qui mettent en place un service pour leur force de vente, de la libérer des coûts de communication.

- La tarification "au demandeur"

Le coût du transport de l'information est intégralement payé par l'utilisateur.

Dans une deuxième possibilité, le coût du service peut être fixé par le fournisseur du service qui le facture directement à ses utilisateurs.

Le fournisseur de service ne paie aucun coût de communication, il gère directement avec les utilisateurs le coût "prestation". La prestation peut être gratuite (c'est le cas de la plupart des services offerts par les mairies, les administrations ...), ou payante par abonnement et l'accès au service est alors contrôlé par code confidentiel par exemple.

- La tarification de type "kiosque"

France Télécom se charge de la facturation et du recouvrement des sommes dues par les utilisateurs (coût du transport de l'information et coût du service), puis reverse au fournisseur de service le montant "prestation" qui lui revient, au prorata de la durée de consultation, en vertu du décret 85-31 du 4 janvier 1985 devenu l'article R54-1 du code des P et T.

Sur la facture téléphonique de l'utilisateur, le coût des communications du S.A.T. en Kiosque inclut donc le prix "prestation" des services consultés.

Le Kiosque Télétel a été un élément fondamental du succès de Télétel car il résout efficacement le problème de la rémunération des fournisseurs de services lorsque le coût de leur services est proportionnel à la durée de consultation.

Ce système permet donc au fournisseur de service (ou éventuellement au serveur ou au bénéficiaire mandaté) d'être rémunéré au prorata des heures d'interrogation de son service sans qu'il ait à identifier les utilisateurs, ni gérer des abonnements pour l'utilisation de son service.

Plusieurs tarifications de type "kiosque" ont été développées :

- Télétel 3 qui se nomme aussi "Kiosque grand public" ;
- Télétel 3 Professionnel et Télétel 4 ont été regroupés sous l'appellation "Kiosque professionnel et d'informations spécialisées" ;
- Télétel 6 et Télétel 7 forment le "Kiosque d'informations professionnelles".

Chacun de ces différents modes de tarification comprend un ou plusieurs "accueils"; chaque accueil peut comprendre un ou plusieurs tarifs identifiés par leur code de tarif (sous la forme t..).

LES PROCEDURES D'ACCES AUX SERVICES TELETEL

- Les modes d'accès aux services.

Les services Télétel peuvent être appelés via le Service d'Accès Télétel:

- par double numérotation:

Ce mode d'accès s'effectue par composition d'un numéro téléphonique national à 4 chiffres (ex : 3614), représentatif de l'accueil du service

A la connexion, un écran d'accueil s'affiche qui permet la saisie du code du service ou de son adresse Transpac.

Ce mode d'accès par double numérotation a l'avantage d'assurer le passage d'un service à un autre, accessible par le même accueil, par simple appui sur la touche "Connexion-Fin". Il permet en plus de bénéficier de tous les services liés aux pages d'accueil Télétel : affichage des coûts de communication cumulés, appel de MGS, reroutage ...

- par simple numérotation:

La composition d'un numéro téléphonique national à 8 chiffres (ex : 3624 nn nn, 3625 nn nn ...) permet l'accès direct à un service (accueil déterminé par les 4 premiers chiffres du numéro, service déterminé par les 4 derniers chiffres).

L'utilisateur est alors mis en relation directe avec le service demandé, sans l'intermédiaire de la page d'accueil Télétel.

Ce mode d'accès présente l'avantage de faciliter la sélection ou le contrôle des services appelés à partir des Minitel situés en entreprise, si l'installation téléphonique privée de celle-ci le permet.

- Les codes d'accès.

En double numérotation, le code d'accès est le code de service tapé après le numéro national à 4 chiffres: ex r LEMONDE, SNCF ...

En simple numérotation, le code d'accès est le numéro d'accès à huit chiffres qui permet l'accès au service désigné par les 4 derniers chiffres, sans passer par une page d'accueil: ex : 36 26 50 50, 36 05 22 38 ...

LA MISE EN OEUVRE D'UN SERVICE TELETEL

- Le raccordement au serveur

Pour qu'un service Télétel soit accessible par le S.A.T., le serveur qui l'héberge doit être raccordé au réseau Transpac.

Les caractéristiques du raccordement Transpac à effectuer dépendent des éléments suivants :

- le dimensionnement du serveur, c'est-à-dire l'évaluation du nombre minimum d'appels simultanés auxquels le serveur aura à répondre et le volume des données à transmettre pour déterminer la vitesse ("débit numérique") de la ou des lignes et le nombre de voies logiques à demander ;
- le nombre de lignes dans le cas d'un groupement de lignes ou encore du service d'acheminement ;
- le type de tarification du service: au demandé, au demandeur, ou en Kiosque (donc à inscrire au Groupe Fermé d'Abonnés (GFA) Kiosque).

- L'attribution d'un code d'accès au service

Il appartient au fournisseur de faire une demande auprès de France Telecom d'attribution d'un code d'accès à son service Télétel. Pour cela il devra constituer un dossier de demande d'attribution d'un code d'accès comportant diverses pièces selon les caractéristiques qu'il aura choisies pour ce code.

L'INTEGRATION D'UNE SOLUTION TELEMATIQUE DANS LE RESEAU DE COMMUNICATION DE L'ENTREPRISE

Une solution télématique peut être complémentaire à des applications informatiques existantes.

L'application télématique peut être mise en oeuvre à partir des terminaux classiques émulsés ou vidéotex.

Elle peut s'intégrer dans un système plus vaste et grâce à Numéris, associer l'image aux données.

Pour sécuriser les applications, le lecteur de carte à mémoire (LECAM) identifie les interlocuteurs et fiabilise les transactions.

Elle peut faciliter les échanges de données internes par la création d'une messagerie interne, en utilisant par exemple, Minicom, de façon originale.

Avec le reroutage, elle permet de communiquer et de "naviguer" entre les services.

Télétel et l'International

Mise en service depuis 1986, l'extension du réseau Télétel à l'étranger est assurée par la passerelle Minitelnet, exploitée par la filiale de France Telecom, Intelmatique S.A., qui gère le trafic vidéotex international.

Minitelnet permet l'interconnexion aux réseaux vidéotex mondiaux: transport, aspects tarifaires, et interface entre les services vidéotex et l'environnement international.

Minitelnet donne un accès à l'ensemble de services internationaux (environ 15 000 en 1991).

Depuis 1991, différents pays se sont raccordés à Télétel, par Minitelnet, comme la Finlande, le Portugal, la Belgique, le Danemark, l'Italie, la Suisse, l'Andorre, la RFA, les USA, le Luxembourg, le Japon l'Espagne, les Pays-Bas, l'Irlande, la Norvège, et l'Afrique du Sud.

Minitelnet offre différentes solutions aux besoins de communication internationale.

L'offre "Professionnel Express" s'adresse à des entreprises possédant un service télématique, souhaitant le mettre à disposition de leurs filiales, partenaires à l'étranger.

"Professionnel Express" met en oeuvre un accès unique et simple, avec une souplesse de tarification, convenant aux besoins spécifiques d'un réseau professionnel.

Sur le territoire français, Minitelnet offre aussi la possibilité aux réseaux locaux d'entreprises, d'appeler le service Télétel par un "Point d'Accès Privé" appartenant à l'entreprise, et possédant une liaison X25 avec Transpac.