

# Chapitre 5

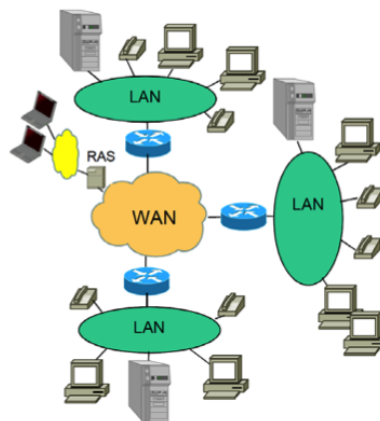
## Réseaux grande distance

### 5.1 Définition

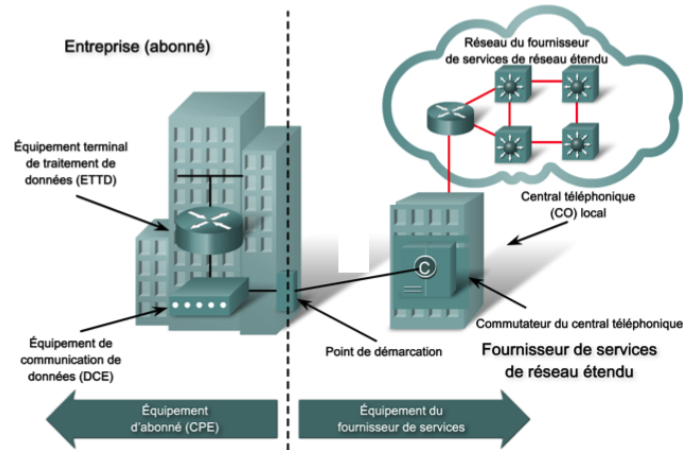
Les réseaux à grande distance (WAN) reposent sur une infrastructure très étendue, nécessitant des investissements très lourds. Contrairement aux réseaux locaux d'entreprise, les usagers ne sont pas propriétaires des réseaux, lesquels appartiennent à des opérateurs qui doivent respecter la législation en cours dans les pays où ils sont implantés. Ils fournissent aux usagers un service de transport de données, soit par des lignes spécialisées louées, soit par des lignes commutés à travers des réseaux à commutation de circuits ou à commutation de paquets. Les accès peuvent être permanents et commutés avec une plus ou moins grande fiabilité.

### 5.2 Organisation physique

Les réseaux WAN sont utilisés pour interconnecter plusieurs réseaux locaux, ou même permettre aux utilisateurs de se connecter à travers des réseaux publics tel que internet.



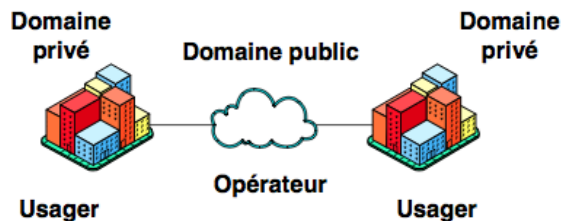
À l'intérieur, un réseau WAN est composé des moyens de transmission et les organes nécessaires à l'acheminement des informations (réseau téléphoniques fixes et cellulaires, lignes spécialisées , liaisons satellites,...) et son optimisation (fournisseurs de services, commutateurs, taxation, statistiques, sécurité, ...)



## 5.3 Connexion

### 5.3.1 Les opérateurs

Dans le domaine public, le transport des informations est assuré par des opérateurs (publics ou privés, en situation de monopole ou non).



Ils fournissent des services de transport de données aux usagers. Quelquefois, les services peuvent s'étendre au delà du transport, et prendre en compte les applications, voire leur gestion. En fonction de la technologie utilisée, la rémunération peut être basée sur la distance, la vitesse, le volume, la sécurisation ... Elle dépend donc de la qualité du service demandé.

### 5.3.2 Les lignes spécialisées (ou louées)

Elles réalisent des communications point-à-point, où chaque point de connexion est identifié par l'opérateur. En général, le coût à la minute est plus faible que celui d'une

liaison commutée, mais en volume, il est plus important puisque la liaison est permanente. Elle est rentable si le trafic est intense (plusieurs heures par jour). En contre partie, à débit physique égal, la liaison est plus rapide puisqu'on économise les durées de connexion et de déconnexion. On peut faire une analogie avec une manufacture qui dispose d'un site de fabrication, et d'un site commercial éloigné. Si la production à écouler est permanente et volumineuse, il est plus rentable de louer une ligne ferroviaire entre ces 2 sites. Le temps de transit est alors plus faible (Il n'est pas nécessaire d'organiser une livraison). Dans le cas contraire, il vaut mieux expédier la production à travers le réseau ferroviaire de l'opérateur. Chaque livraison devra être organisée, et la production sera acheminée avec le reste du trafic de l'opérateur. Le délai de livraison sera plus long (aiguillages, temporisation dans les gares de triage ...), mais le coût de la livraison sera moindre.

### 5.3.3 Les lignes multiplexées

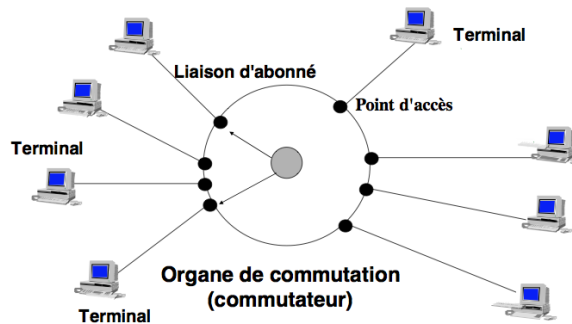
L'objectif économique d'une ligne multiplexée est l'utilisation rationnelle d'une ligne qui peut être partagée entre plusieurs usagers. En effet, il est rare qu'un seul usager utilise en permanence la totalité des capacités d'une ligne. Les ressources de la ligne peuvent être partagées soit en fréquence, soit dans le temps.

- Le multiplexage fréquentiel consiste à diviser la bande passante de la ligne en sous-bandes, chacune d'elle étant affectée à une communication. Tout se passe comme si la ligne était constituée de plusieurs lignes en parallèle (canaux), chacune d'elle occupant une fraction de la bande passante totale de la ligne. A la source, l'opération de multiplexage consiste à transposer les signaux de chaque canal dans la bande de fréquence qui lui a été attribuée. Ainsi les différents signaux peuvent être transmis ensemble sur la ligne sans interférer. Pour éviter les interférences, on prévoit des bandes de fréquence de sécurité afin que les spectres de 2 canaux voisins ne se recouvrent pas.
- Le multiplexage temporel est utilisé pour les signaux numériques. Si le signal est analogique à la source, il subit une conversion analogique/numérique.

## 5.4 Commutation

La commutation consiste à mettre en relation de façon temporaire 2 points de connexion, créant ainsi une liaison temporaire entre les 2 terminaux connectés. L'organe de commutation s'appelle un commutateur. Cette solution résout le problème du nombre de lignes

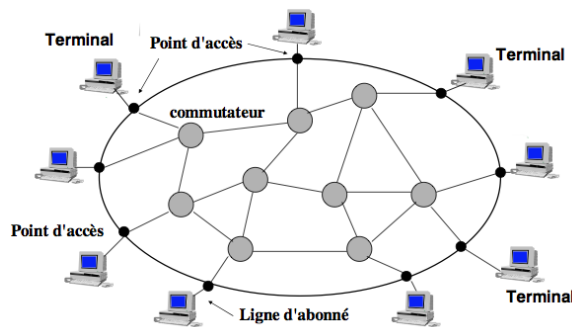
d'abonnés (une ligne par abonné). Par contre, si le commutateur est unique, les lignes d'abonnés doivent être très longues, et de plus, à un instant, seuls 2 abonnés peuvent être connectés.



Pour résoudre ce problème, il faut rapprocher les points de connexion des abonnés, offrir la possibilité de construire des chemins multiples entre les points de connexion : il faut créer un maillage entre des commutateurs, c'est à dire un réseau de commutation.

#### 5.4.1 Réseaux de commutation

Les terminaux sont reliés au réseau de commutation par une ligne d'abonné locale (courte). Plusieurs liaisons peuvent être établies simultanément. Plusieurs terminaux peuvent accéder au réseau de commutation par le même point d'accès (non représenté sur le schéma). Les commutateurs réalisent une fonction d'aiguillage et participent au routage des données, pour constituer des connexions entre les terminaux.



Dans ce contexte où la ressource est rare vis-à-vis de la demande potentielle (si simultanément tous les abonnés du réseau désiraient joindre un autre abonné...), il est indispensable de rechercher des techniques particulières pour optimiser le partage des ressources, c'est l'objectif des techniques de commutation.

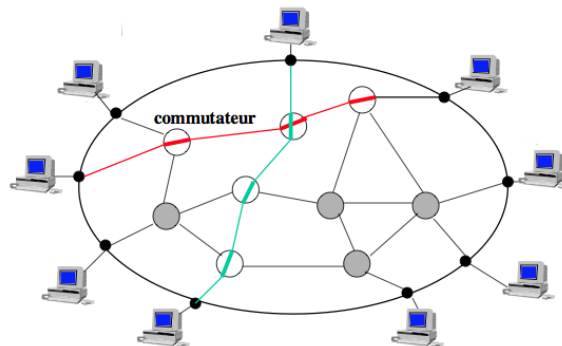
## 5.4.2 Techniques de commutation

Selon la technique employée pour relier deux utilisateurs, on distingue la commutation de circuits, de messages ou de paquets.

### 5.4.2.1 La commutation de circuits

Elle est issue des techniques utilisées dans les réseaux téléphoniques (RTC). Elle se déroule en 3 phases :

1. **La connexion** : un chemin est établi entre l'appelant et l'appelé, par commutations successives. Les commutateurs ne remplissent qu'une fonction d'aiguillage. Tout se passe comme s'il n'y avait qu'une seule liaison entre les extrémités.
2. **Le transfert** : Les données (ou la voix) sont transmises de bout en bout sur le "circuit de données". Les ressources (lignes) sont attribuées en permanence, et en volume constant, pendant toute la durée de la communication (les "silences" sont pénalisés).
3. **La libération** : après le transfert, les ressources sont restituées au réseau de commutation, et sont disponibles pour d'autres communications.

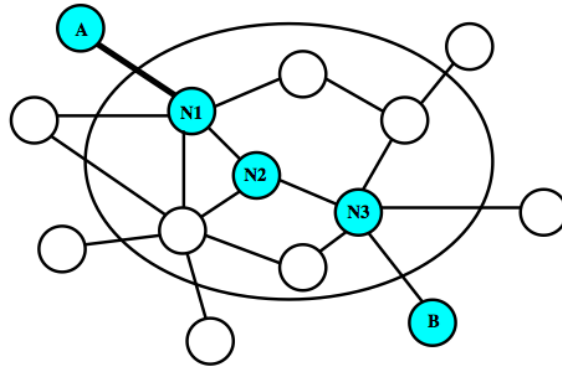


Cette technique souffre de trois inconvénients :

- Chevelure analogique (débit limité)
- Délais de connexion importants
- Signalisation indistincte des données, et mal adaptée

### 5.4.2.2 La commutation de message

Le principe est très différent de la commutation de circuits. Les données sont structurées en messages. Un message est une suite logique de données qui forment un tout (fichier, enregistrement ...).



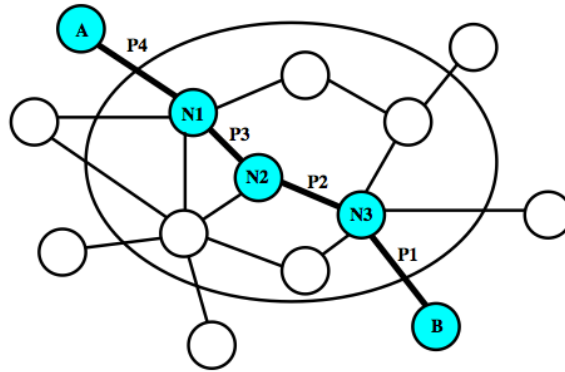
Un message est acheminé vers sa destination au fur et à mesure des commutations :

- Le message délivré par A est envoyé vers N1, où il est stocké et vérifié,
- La liaison A-N1 est libérée
- Il est transmis à N2, où il est stocké et vérifié,
- La liaison N1-N2 est libérée,
- Le processus est itératif jusqu'à la livraison du message à B
- Ainsi, les commutateurs (ou nœuds de commutation) sont dotés de mémoire et de capacité de traitement de données (leur fonction va au-delà d'un simple aiguillage).
- Quand un message est enregistré dans un nœud de commutation, la liaison par laquelle il est arrivé est libérée, et ses ressources sont disponibles pour le réseau de commutation.

L'avantage de cette technique est que sur le chemin AB, on n'utilise qu'une seule liaison de données à la fois, les autres étant disponibles pendant ce temps pour d'autres communications. Cependant, si la taille des messages est trop importante, il y a des risques de débordement des tampons de stockage puisqu'un nœud de commutation peut recevoir des messages depuis plusieurs stations). En plus, le délai d'acheminement de bout en bout est excessif (il faut attendre qu'un message soit entièrement stocké dans un nœud avant de le retransmettre vers le nœud suivant),

#### 5.4.2.3 Commutation de paquets

Pour palier aux inconvénients engendrés par les messages de taille trop importante, on fragmente les messages en paquets de taille moyenne. Les paquets sont acheminés de nœud en nœud : après avoir été vérifiés, ils sont réexpédiés, sans attendre la totalité du message.



Cette fragmentation élimine les inconvénients engendrés par la commutation de messages trop longs :

- A débit constant, le délai d'acheminement de bout en bout est plus court,
- La capacité de stockage des nœuds de commutation est moindre,
- A taux d'erreur constant, la probabilité d'erreur sur un paquet (un bit erroné) est plus faible, et en cas d'erreur, seul le paquet erroné doit être retransmis.
- De plus, les paquets peuvent plus facilement être multiplexés sur des liaisons à haut débit.

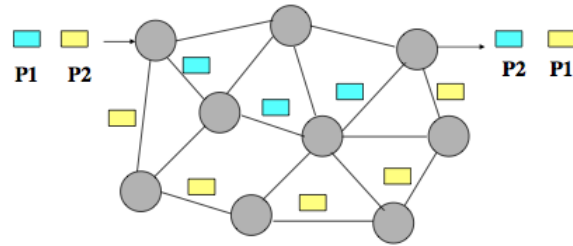
La taille des paquets est fixée par un compromis entre 2 contraintes :

- Il faut réduire leur taille pour profiter au maximum des avantages de la fragmentation,
- Il ne faut pas trop la réduire, à cause de l'encapsulation des données (pour ne pas réduire le débit utile, il faut que la taille des données utiles soit très supérieure à celle de la signalisation et des informations protocolaires).

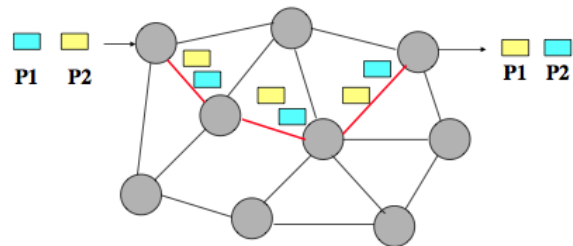
En pratique, elle est fixée par les protocoles de transfert de paquets : Elle est généralement de l'ordre de grandeur du koctet (sauf pour les réseaux à commutations rapides, pour lesquels les messages sont fragmentés en cellules de quelques dizaines d'octets).

La commutation de paquets peut se faire en deux modes :

- Mode non connecté : les paquets (appelés datagrammes) sont transmis de nœud en nœud, au fur et à mesure que la connexion est établie, sans s'assurer que les ressources soient disponibles de bout en bout. Les paquets d'un même message, sont indépendants. Ils peuvent suivre des chemins différents, car les algorithmes de routage sont adaptatifs ( chaque paquet subit un routage, et son parcours dépend du trafic). Ils sont livrés dans le désordre.



- En mode connecté, un circuit est établi de bout en bout, avant de transférer le message, comme pour la commutation de circuits. Mais il s'agit bien de la commutation de paquets ( le circuit est virtuel). Avant de transférer les paquets de données, un paquet (appelé paquet d'appel) subit un routage adaptatif, pour parcourir un chemin optimal. Au fur et à mesure de son parcours, les ressources sont réservées, et les tables de routage des nœuds traversés sont fixées. Ainsi, tous les paquets suivants d'un même message suivront le même chemin (appelé circuit virtuel commuté ou CVC), et sont livrés dans l'ordre d'émission. Après le transfert des données, un paquet ( de libération) parcourt le CVC, et le ferme en restituant ses ressources.



Le transfert des paquets de données est plus rapide, car ils ne sont pas retardés par l'exécution d'un algorithme de routage.

Le contrôle d'erreur dans les réseaux à commutation de paquets peu se faire en deux manières :

1. Un contrôle d'erreur par liaison de données : Le paquet, encapsulé dans une trame, est contrôlé dans chaque nœud de commutation. Cette méthode augmente la fiabilité, mais aussi le délai de transit.
2. Un contrôle d'erreur de bout en bout : Il n'y a pas de contrôle d'erreur dans les nœuds de commutation. Le contrôle est effectué aux extrémités par les usagers du réseau de commutation. Le transfert est moins fiable, mais plus rapide.