

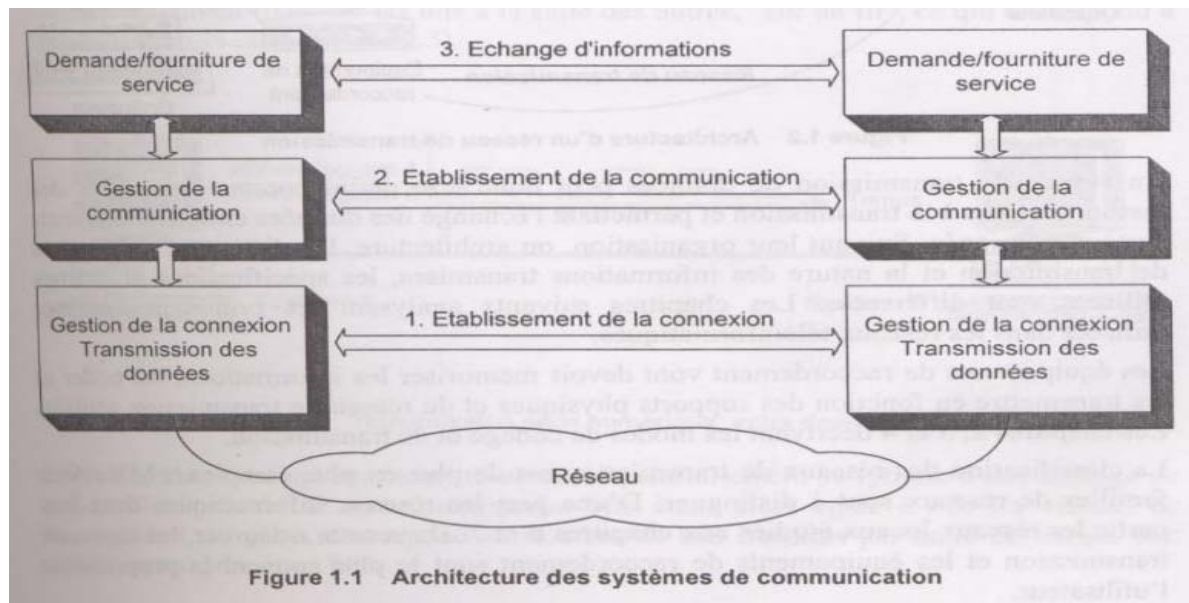
## Introduction

### 1.1 CONCEPTS DE BASE

Les besoins de communication de données informatiques entre systèmes plus ou moins éloignés sont multiples : transmission de messages (messagerie), partage de ressources (imprimante, disque dur, internet), transfert de fichiers (FTP), consultation de bases de données, gestion de transactions, télécopie ...

Pour communiquer, ces systèmes disposent de 3 blocs fonctionnels (figure 1.1) :

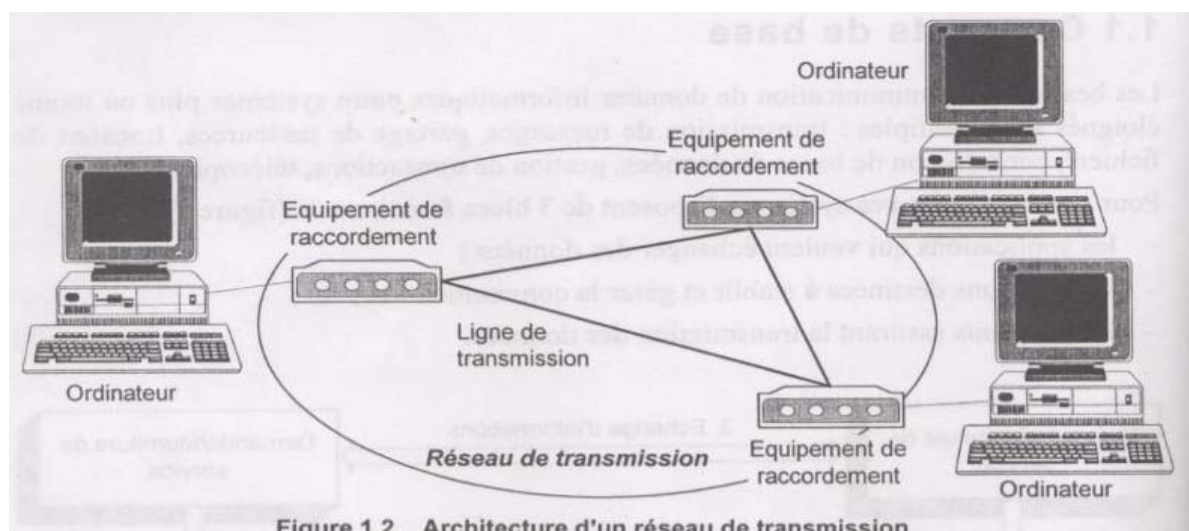
- les applications qui veulent échanger des données ;
- les fonctions destinées à établir et gérer la communication ;
- les fonctions assurant la transmission des données.



Il est important de noter que ce sont les applications (FTP, messagerie, etc ...) qui sont à l'origine de la demande et de la procédure de communication. En revanche, l'établissement de la communication entre les systèmes téléinformatiques s'effectue à partir du réseau.

C'est tout d'abord la connexion entre les 2 systèmes qui est établie à travers le réseau (phase 1). Puis la communication est établie, vérifiant que les systèmes peuvent dialoguer : même « langage », mémoire disponible, services applicatifs présents (phase 2). Les applications peuvent alors échanger leurs informations (phase 3).

Matériellement, un réseau de transmission comprend des **équipements de raccordement**, pouvant être externes (comme un modem) ou internes (carte réseau par exemple). Ces équipements sont connectés entre eux par des lignes ou supports physiques de transmission (figure 1.2).



Un **réseau** de transmission de données peut donc être défini comme l'ensemble des ressources liées à la transmission et permettant l'échange des données entre différents systèmes éloignés. Suivant leur organisation, ou architecture (étoile, BUS, anneau ...), les distances, les vitesses de transmissions et la nature des informations transmises (image, texte, ...), les spécifications et normes utilisées sont différentes. Les chapitres suivants analysent les principales normes utilisées dans les réseaux téléinformatiques.

Les équipements de raccordement vont devoir mémoriser les informations (pour s'adapter aux débits qu'ils reçoivent), les coder (passage d'une information d'un langage compréhensible par l'homme à un langage compréhensible par le système informatique) et les transmettre en fonction des supports physiques (câbles aux formats divers, ondes ...) et du réseau de transmission utilisés (son architecture). Les chapitres 2, 3 et 4 décrivent les modes de codages et de transmission.

La classification des réseaux de transmissions est de plus en plus complexe. Mais deux familles de réseaux sont à distinguer. D'une part les réseaux informatiques dont font partie les réseaux locaux étudiés aux chapitre 6 et 7. Dans cette catégorie, les lignes de transmission et les équipements de raccordement sont le plus souvent la propriété de l'utilisateur. D'autre part les réseaux de télécommunication pour les liaisons longues distances présentés aux chapitres 8 et 9. Ces réseaux sont le plus souvent la propriété d'opérateurs de télécommunication (France Télécom, Télécom italia, ATT ...) qui louent leur utilisation et des services aux clients. Les équipements de raccordement marquent alors la limite de propriété entre les équipements du client et ceux de l'opérateur.

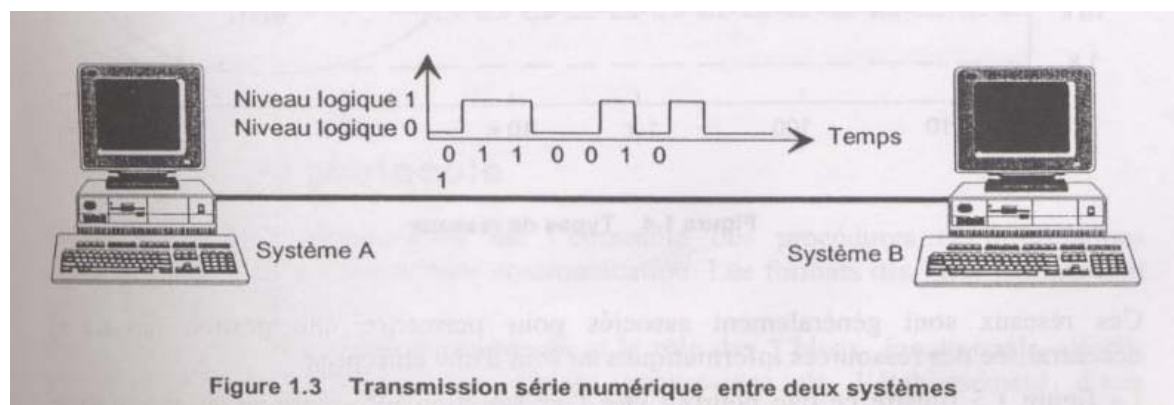
## 1.2 CODAGE ET TRANSMISSION SERIE

Dans la plupart des réseaux téléinformatiques, les informations sont de nature numérique (représentés par des caractères : nombres, ...). Leur transmission sur le support physique d'interconnexion (« la ligne ») peut être réalisée, suivant les besoins et les caractéristiques du support, sous forme analogique (RTC : Réseau Téléphonique Commuté) ou numérique (réseau locaux, RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services).

Dans les deux cas, une adaptation à la ligne est nécessaire. Pour une transmission analogique, cette adaptation consiste en une conversion numérique-analogique par modulation.

Les informations numériques traitées et transmises dans les systèmes téléinformatiques correspondent à une association d'éléments binaires (0 ou 1) ou bits. Suivant le type de traitement réalisé et la nature des informations (base de données, texte, télécopie, programme ...), les éléments binaires sont regroupés pour former un ensemble significatif (octet, caractère sur 7 ou 8 bits ...).

Le codage est l'opération qui fait correspondre à chaque caractère ou groupe de bits une valeur numérique déterminée exprimée le plus souvent en décimal ou en hexadécimal (code ASCII, EBCDIC, télex ...). Les éléments binaires composant un caractère codé sont généralement transmis les uns à la suite des autres, « sur un fil », ce qui correspond à une transmission série (figure 1.3).

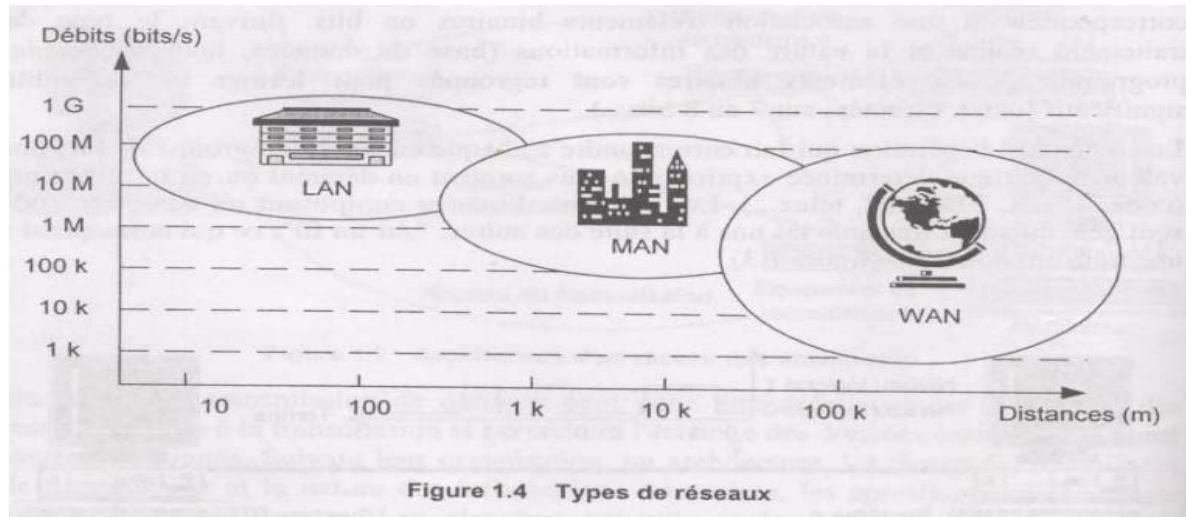


Les  $n$  bits d'un message sont ainsi transmis séquentiellement au rythme d'une horloge de période  $T$ , la durée de transmission des bits étant égale alors à  $nT$ . La vitesse de transmission, ou débit, correspond au nombre de bits transmis par unité de temps. Les débits sont exprimés en bit/s ou octet/s ou Bytes (« octets en français)/s => Bytes/s.

### 1.3 TYPES DE RESEAUX INFORMATIQUES

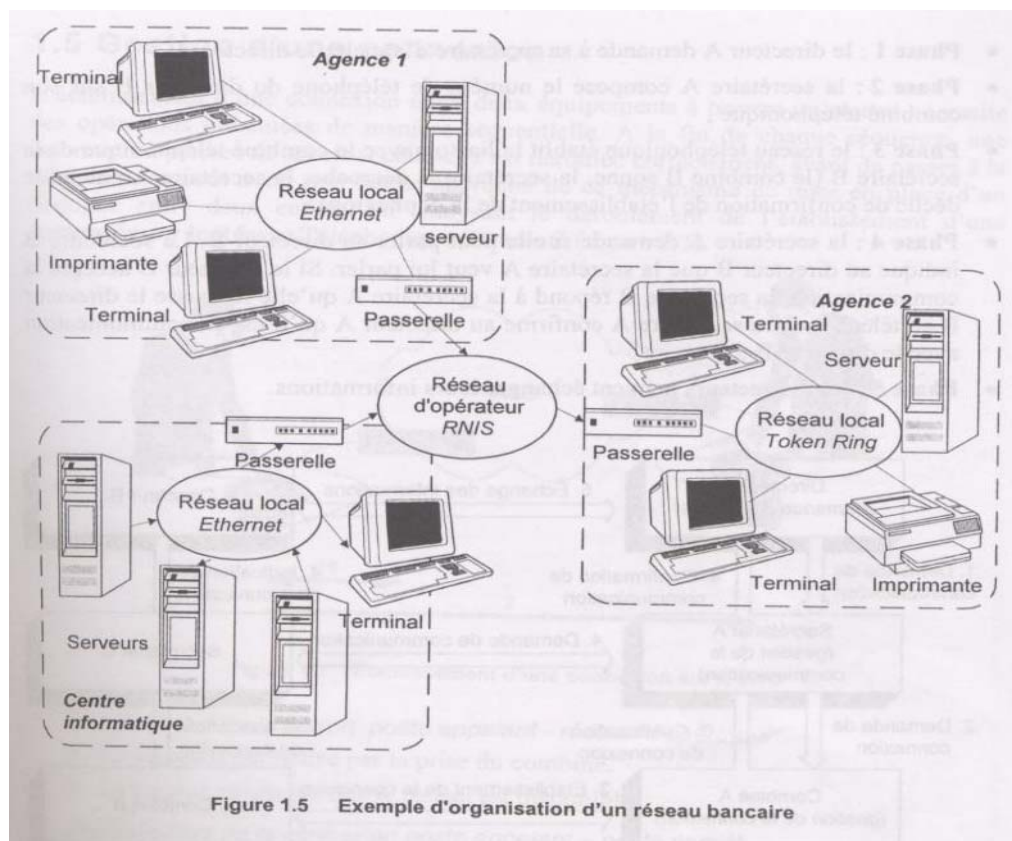
Suivant la localisation, les distances entre systèmes informatiques et les débits maximums, on peut distinguer trois types de réseaux (figure 1.4) :

- les réseaux locaux ou **LAN** (*Local Area Network*) qui correspondent par leur taille aux réseaux intra-entreprise et qui permettent l'échange de données informatiques ou le partage de ressources ;
- les métropolitains ou **MAN** (*Metropolitan Area Network*) qui permettent l'interconnexion de plusieurs sites à l'échelle d'une ville, chacun des sites pouvant être équipé d'un réseau local ;
- les réseaux longues distances ou **WAN** (*Wide Area Network*), généralement réseaux d'opérateurs, et qui assurent la transmission des données numériques sur des distances à l'échelle d'un pays. Le support utilisé peut être terrestre (réseau maillé du type réseau téléphonique : RTC ou ligne spécialisé : LS) ou hertzien (transmission par ondes).



Ces réseaux sont généralement associés pour permettre une gestion ouverte et décentralisée des ressources informatiques au sein d'une entreprise.

La figure 1.5 illustre ce que pourrait être l'organisation informatique au niveau d'une banque nationale où l'accès à l'information serait possible à partir de tout établissement ou pour tout client.





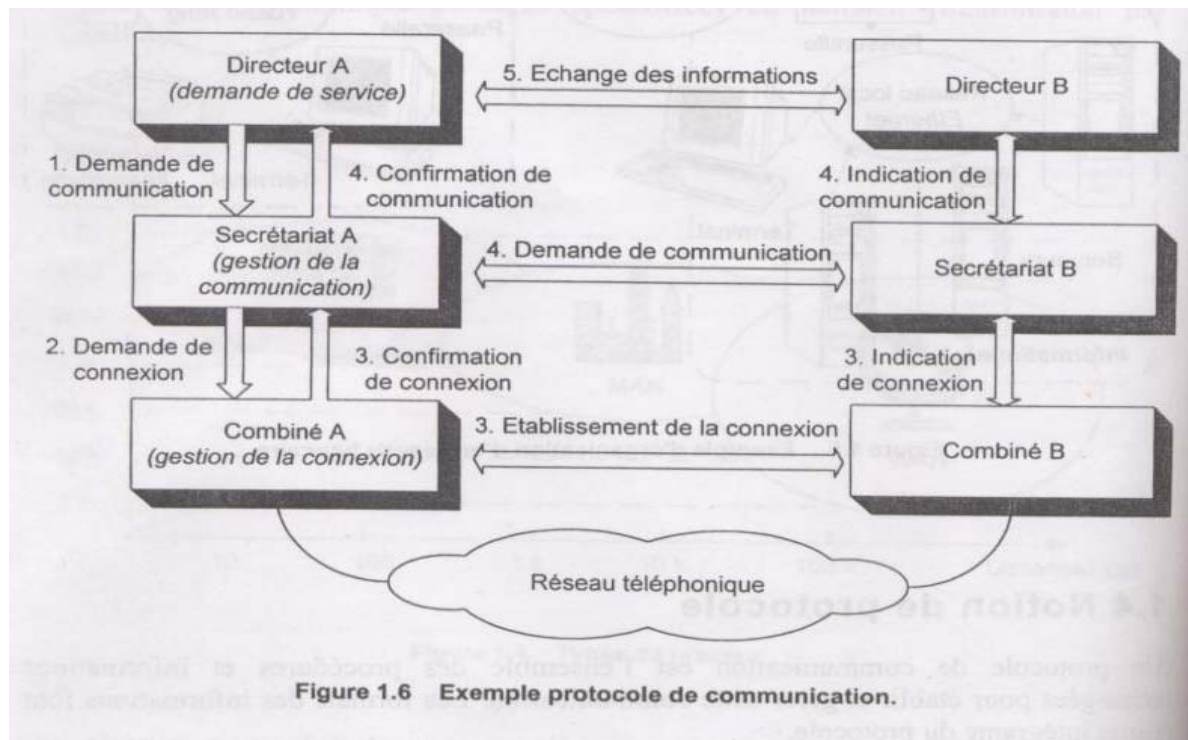
## 1.4 NOTION DE PROTOCOLE

Un protocole de communication est l'ensemble des procédures (règles à respecter) et informations échangées pour établir et gérer une communication. Les formats des informations font partie intégrante du protocole.

Pour comprendre cette notion de protocole et le rôle des 3 blocs fonctionnels décrits au paragraphe 1, examinons les phases successives de l'établissement d'une communication téléphonique entre 2 directeurs.

Chaque directeur dispose d'un secrétariat comme le montre la figure 1.6. Cinq phases successives d'établissement de la communication peuvent être distinguées.

- **Phase 1** : le directeur A demande à sa secrétaire d'appeler le directeur B ;
- **Phase 2** : la secrétaire A compose le numéro de téléphone du directeur B sur son combiné téléphonique ;
- **Phase 3** : le réseau téléphonique établit la liaison avec le combiné téléphonique de la secrétaire B (le combiné B sonne, la secrétaire B décroche, la secrétaire A entend le dé clic de confirmation de l'établissement de la connexion) ;
- **Phase 4** : la secrétaire A demande si elle peut parler au directeur B. La secrétaire B indique au directeur B que la secrétaire A veut lui parler. Si le directeur B accepte la communication, la secrétaire B répond à la secrétaire A qu'elle lui passe le directeur B au téléphone. La secrétaire A confirme au directeur A qu'il est en communication avec le directeur B ;
- **Phase 5** : les 2 directeurs peuvent échanger leurs informations



Cette description montre qu'il existe un dialogue entre deux blocs contigus d'un système, d'une part, un dialogue entre blocs de même niveau fonctionnel de chacun des 2 systèmes distants d'autre part. Ces deux dialogues seront examinés au chapitre 5 dans le cadre de systèmes téléinformatiques.

Il faut également noter qu'une **demande** par un bloc fonctionnel nécessite en retour une **confirmation** positive ou négative de cette demande. L'exemple de l'établissement d'une connexion sur le réseau téléphonique illustre ce dialogue.

## 1.5 GESTION D'UNE CONNEXION

L'établissement d'une connexion entre deux équipements à travers un réseau nécessite des opérations effectuées de manière séquentielle. A la fin de chaque séquence, une information permet de savoir si celle-ci s'est déroulée correctement, avant de passer à la suivante. On peut avoir une bonne approche de ce mécanisme de mise en place d'un dialogue entre deux entités, en analysant le déroulement de l'établissement d'une connexion sur le Réseau Téléphonique Commuté (figure 1.7).



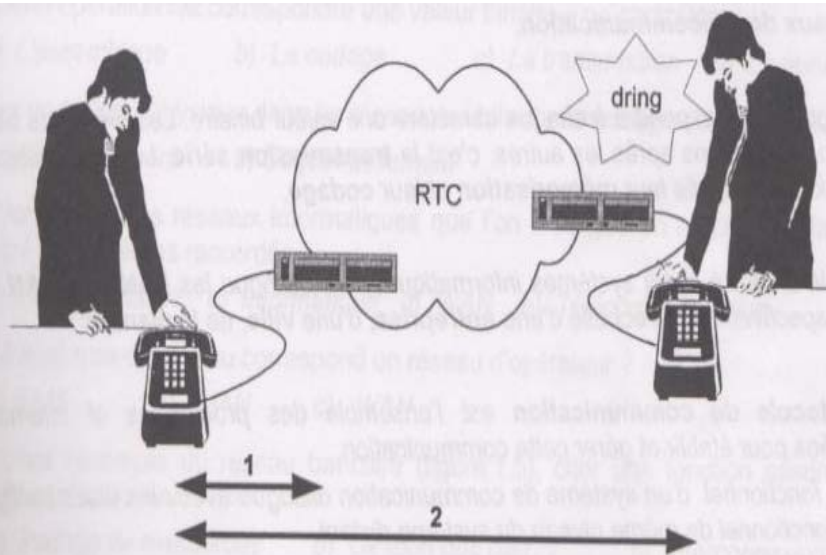


Figure 1.7 Établissement d'une connexion sur le RTC

1. *Établissement de la liaison poste appelant - réseau d'opérateur*
  - La demande est initiée par la prise du combiné.
  - La tonalité **confirme** que le réseau est disponible.
2. *Établissement de la connexion poste appelant – poste appelé*
  - La demande est réalisée par une numérotation.
  - L'opérateur est chargé d'établir la connexion entre les 2 postes téléphoniques.
  - Le combiné distant sonne, **informant** le destinataire de la demande de connexion.
  - Le destinataire **répond** affirmativement en décrochant son combiné.
  - Le déclié **confirme** que la connexion est établie.

La confirmation de l'établissement de la connexion va permettre au bloc « gestion de la communication » de poursuivre la procédure d'établissement de la communication. Cette phase se terminera par une confirmation, en réponse à la demande de communication. Les combinés téléphoniques sont donc des équipements d'établissement/libération de connexion et de transmission de l'information. La procédure d'établissement/libération de connexion sur le RTC sera détaillée dans le chapitre 5 pour comprendre le rôle des primitives de services dans l'architecture OSI.

## Résumé

- Les systèmes disposent de 3 blocs fonctionnels : les applications qui veulent **échanger des données** ; les fonctions destinées à **établir et gérer la communication** et les fonctions assurant la **transmission des données**.
- Un réseau de transmission comprend des **équipements de raccordement** reliés par des **lignes de transmission**. Il existe 2 familles de réseaux : les **réseaux informatiques** et les **réseaux de télécommunication**.
- Le codage fait correspondre à chaque caractère une valeur binaire. Les éléments binaires sont transmis les uns après les autres, c'est la **transmission série**. La transmission des informations nécessite leur **mémorisation** et leur **codage**.
- Suivant la distance entre systèmes informatiques, on distingue les **LAN**, les **MAN** et les **WAN** respectivement à l'échelle d'une **entreprise**, d'une **ville**, de la **planète**.
- Un **protocole de communication** est l'ensemble des procédures et informations échangées pour établir et gérer cette communication.  
Un bloc fonctionnel d'un système de communication dialogue avec : les blocs contigus et le bloc fonctionnel de même niveau du système distant.  
Une procédure d'établissement de connexion commence par une demande. Une confirmation permet de savoir si la demande a abouti ou non.
- **L'établissement d'une connexion** nécessite des opérations séquentielles.  
Une séquence commence par une demande de l'appelant, à laquelle correspond une information du destinataire. À la réponse du destinataire, correspond une confirmation au niveau de l'appelant, terminant la séquence.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1. Quelles sont les fonctions d'un système téléinformatique qui n'existent pas dans un système informatique ?
- a) Les applications    b) Les fonctions de gestion de la communication  
c) Les fonctions de transmission des données.
- Q2. Quel bloc fonctionnel est à l'origine de la demande de communication ?
- b) L'application    b) La gestion de la communication  
c) La transmission des données.
- Q3. Indiquer l'ordre, bloc par bloc, dans lequel s'effectue l'établissement de la communication entre systèmes téléinformatiques.
- a) L'application    b) La gestion de la communication  
c) La transmission des données.



- Q4. Indiquer 2 des fonctions assurées par un équipement de raccordement.  
 a) Coder b) Assembler c) Mémoriser d) Transmettre e) Numéroté
- Q5. Citer les 2 familles de réseaux.  
 a) LAN b) MAN c) Informatique d) WAN e) Télécommunication
- Q6. Dans le cas du raccordement d'un réseau local sur un réseau d'opérateur, quel équipement marque la limite entre les 2 réseaux ?  
 a) De raccordement b) De transmission c) De connexion d) De routage
- Q7. Quelle opération fait correspondre une valeur binaire à un caractère ?  
 a) L'assemblage b) Le codage c) La transmission d) La numérotation
- Q8. Sur un support physique dans un réseau, les bits d'un message sont transmis :  
 a) Simultanément b) Séquentiellement
- Q9. Citer 2 types de réseaux informatiques que l'on distingue en fonction de la distance entre les systèmes raccordés.  
 a) LAN b) MAN c) Informatique d) WAN e) Télécommunication
- Q10. A quel type de réseau correspond un réseau d'opérateur ?  
 a) LAN b) MAN c) WAN
- Q11. Dans l'exemple du réseau bancaire (figure 1.5), citer une fonction assurée par le réseau d'opérateur.  
 a) Partage de ressources b) Gestion des clients c) Interconnexion de sites
- Q12. Donner la définition d'un protocole.  
 a) Procédures b) Equipements de raccordement c) Ressources partagées
- Q13. Dans la figure 1.6, qui formule la première demande de communication ?  
 a) Secrétaire A b) Directeur A c) Secrétaire B d) Directeur B
- Q14. Quel est le dialogue entre la secrétaire B et le directeur B ?  
 a) Numérotation b) Demande d'appel c) Sonnerie d) Indication d'appel
- Q15. L'établissement d'une connexion commence par :  
 a) Une confirmation b) Une réponse c) Une demande d) Une indication
- Q16. Une procédure d'établissement d'une connexion se termine par :  
 a) Une confirmation b) Une réponse c) Une demande d) Une indication
- Q17. Citer une fonction assurée par le combiné téléphonique.  
 a) Etablissement de la liaison b) Demande d'appel  
 c) Etablissement de la connexion d) Etablissement de la communication

### QCM

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
b) ; c)	a)	a) ; b) ; c)	a) ; c) ; d)	c) ; e)	a)	b)	b)	a) ; b) ; d)
Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	
b) ; c)	c)	a)	b)	d)	c)	d)	a) ; c)	

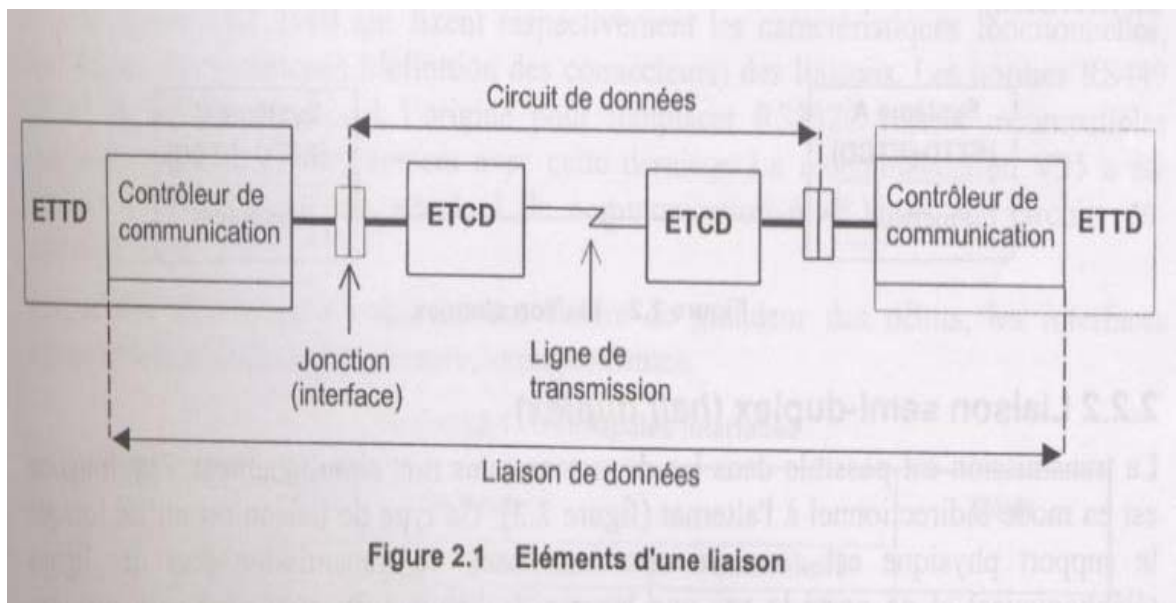
## Chapitre 2

### Description d'une liaison

#### 2.1 ELEMENTS D'UNE LIAISON

La communication entre systèmes informatiques s'effectue via des liaisons dont les principaux éléments sont définis par les recommandations de l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunications – secteur des Télécommunications). La figure 2.1 met en évidence ces différents éléments.





Situé à l'extrémité de la liaison, l'**ETTD** (Equipement Terminal de Traitement de Données ou DTE : *Data Terminal Equipment*) qui intègre un contrôleur de communication peut être un ordinateur, un terminal, une imprimante ou plus généralement tout équipement qui ne se connecte pas directement à la ligne de transmission.

La transmission des données sur la ligne est assurée par l'**ETCD** (Equipement de Terminaison de Circuit de Données ou DCE : *Data Communication Equipment*) qui peut être un modem, un multiplexeur, un concentrateur ou simplement un adaptateur (pseudo-modem).

L'ETCD, la plupart du temps un modem, a deux fonctions essentielles :

- l'adaptation du signal binaire entre l'ETTD et la ligne de transmission, ce qui correspond généralement à un codage et une modulation (ou une démodulation et un décodage suivant qu'il émet ou reçoit) ;
- la gestion de la liaison comprenant l'établissement, le maintien et la libération de la ligne à chaque extrémité.

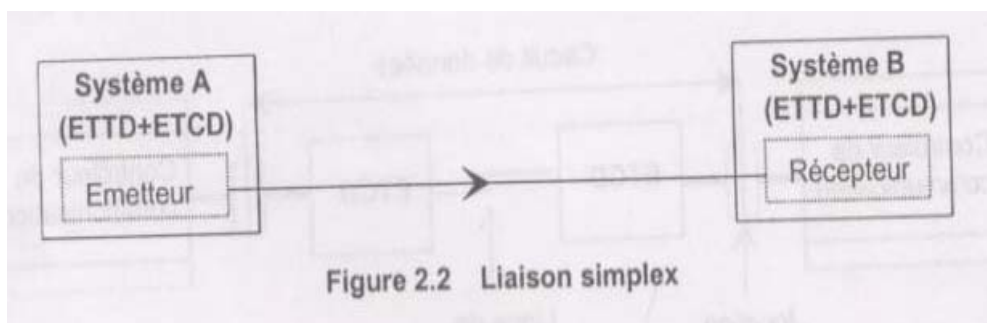
La **jonction** constitue l'interface entre ETCD et ETTD et permet à ce dernier de contrôler le circuit de données (établissement et libération, initialisation de la transmission ...).

## 2.2 MODES D'EXPLOITATION

Le transfert d'informations entre deux systèmes informatiques peut s'effectuer, en fonction des besoins et des caractéristiques des éléments, suivant trois modes d'exploitation de la liaison.

### 2.2.1 Liaison simplex

Le système A est émetteur, le système B est un récepteur, les données sont transmises dans un seul sens (figure 2.2). L'exploitation en mode unidirectionnel est justifiée pour les systèmes dont le récepteur n'a jamais besoin d'émettre (liaisons radio ou télévision).



### 2.2.2 Liaison semi-duplex (*half duplex*)

La transmission est possible dans les deux sens mais non simultanément, l'exploitation est en mode bidirectionnel à l'alternat (figure 2.3). Ce type de liaison est utilisé lorsque le support physique est commun aux deux sens de transmission (cas des lignes téléphoniques) et ne possède pas une largeur de bande suffisante pour permettre des liaisons bidirectionnelles simultanées par modulation de deux fréquences porteuses différentes ; des procédures particulières permettent alors d'inverser le sens de transmission (liaison CB par exemple).

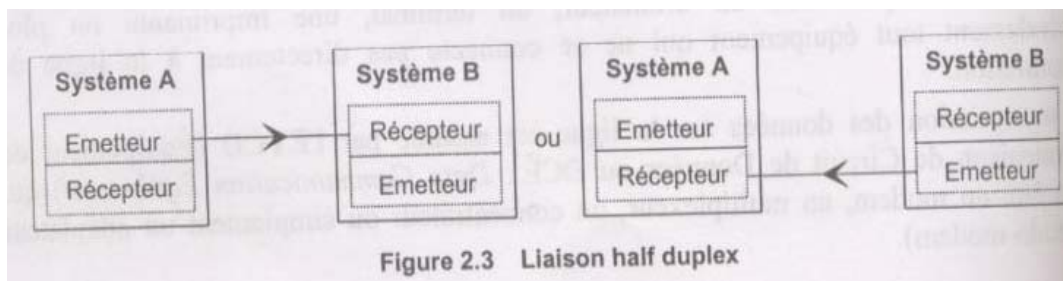


Figure 2.3 Liaison half duplex

### 2.2.3 Liaison duplex intégral (full duplex)

Les données peuvent être émises ou reçues simultanément dans les deux sens, l'exploitation est en mode bidirectionnel simultané (figure 2.4). A chaque sens de transmission correspond un canal de communication propre ; lorsque le support physique est commun aux deux sens de transmission, chaque canal est défini dans une bande de fréquence spécifique.

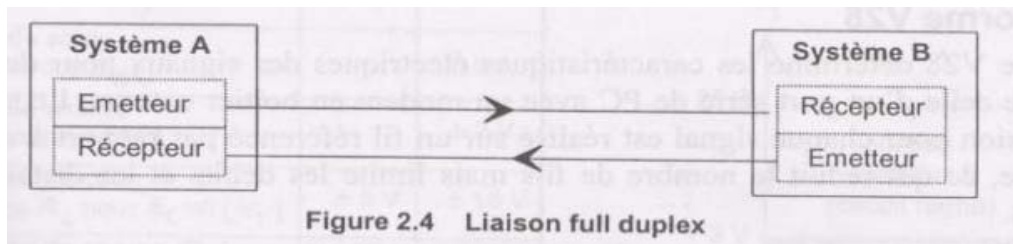


Figure 2.4 Liaison full duplex

## 2.3 NORMALISATIONS DES JONCTIONS

Les principales normes électriques, mécaniques et fonctionnelles rencontrées dans les liaisons séries entre ETTD et ETCD, et par extension entre deux ETTD, sont définies par les avis et recommandations de l'UIT-T, par l'ISO (*International Standardisation Organization*), ainsi que par l'association américaine EIA (*Electrical Industry Association*).

Certaines de ces normes sont équivalentes mais font l'objet de différentes appellations. Ainsi, la norme RS232C définie par l'EIA correspond aux avis V24 et V28 de l'UIT-T et à la norme ISO 2110 qui fixent respectivement les caractéristiques fonctionnelles, électriques et mécaniques (définition des connecteurs) des liaisons. Les normes RS449 (V36) et RS530 conçues à l'origine pour remplacer RS232C restent incompatibles mécaniquement et électriquement avec cette dernière. La recommandation V35 a été définie à l'origine comme standard de communication à 48 kbit/s sur circuits 60-108 kHz.

Le tableau ci-dessous résume suivant l'ordre de grandeur des débits, les interfaces couramment utilisées et les normes correspondantes.

Norme			Débit
Électrique	Mécanique	Fonctionnelle	
UIT-T V28	ISO 2110 (DB25)	UIT-T V24	<20 kbit/s
EIA RS232C			
UIT-T V11/V10 (EIA RS422/RS423 et RS485)	ISO 2593 (34 broches)	UIT-T V24	48 kbit/s
	UIT-T V35		
UIT-T V11/V10	ISO 4902 (DB37)	UIT-T V24	<2 Mbit/s
	UIT-T V36 (EIA RS449)		
UIT-T V11/V10	ISO 2110 (DB25)	UIT-T V24	<2 Mbit/s
	EIA RS530		
UIT-T V11/V10	ISO 4903 (DB15)	UIT-T X21	<2 Mbit/s
I430/I431 (interface "S/T")			2 Mbit/s (RNIS)

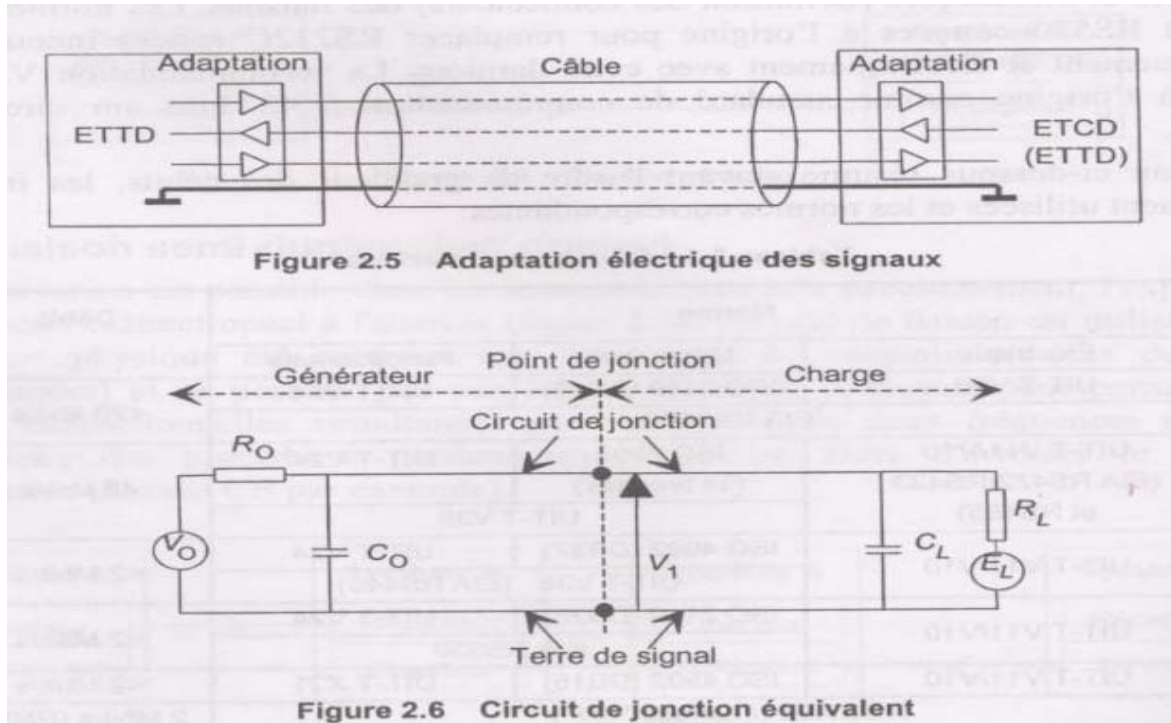
Les principales normes électriques sont définies ci-après ; les normes fonctionnelles V24 et X21 font l'objet des paragraphes 2.4 et 2.5. Les normes concernant les caractéristiques des transmissions entre deux ETCD sont décrites dans le chapitre consacré à la transmission du signal numérique (chapitre 4, paragraphe 3).

### 2.3.1 Normes V28

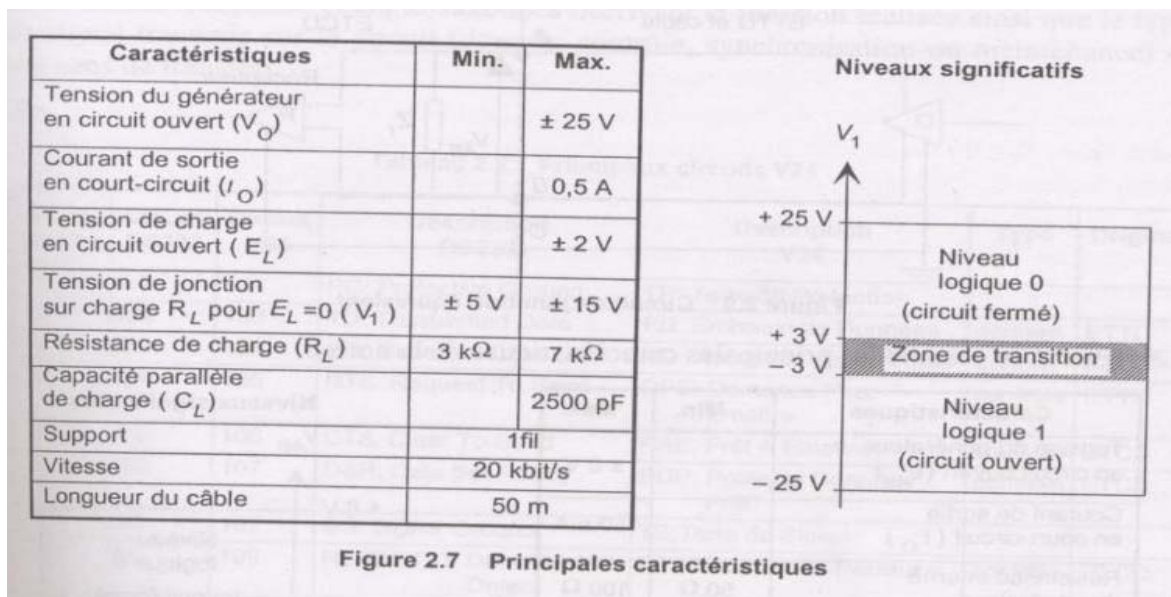
La norme V28 détermine les caractéristiques électriques des signaux pour des liaisons telles que celle d'un port série de PC avec modem en boîtier externe. Le support de transmission pour chaque signal est réalisé sur un fil référencé par rapport à une masse commune, ce qui réduit le nombre de fils mais limite les débits et les distances entre systèmes.

Les valeurs de tension correspondant aux circuits logiques en entrée ou sortie des équipements (circuits en technologie TTL ou CMOS) sont adaptées pour la liaison conformément à l'avis V28 (voir figure 2.5) Ainsi, à un niveau logique 1, correspond une tension de l'ordre de + 5V avant adaptation et une tension comprise entre - 3V et + 25V sur le câble ; de même à un niveau logique 0, correspond une tension de l'ordre de 0 V avant adaptation et une tension comprise entre + 3V et + 25V sur la câble.

La figure 2.6 représente le circuit de jonction équivalent. Suivant l'origine du signal, le générateur peut être installé dans l'ETTD ou l'ETCD. On admet couramment que le câblage de l'interface est fourni par l'ETTD.



La figure 2.7 donne les principales caractéristiques du générateur et de la charge ainsi que les niveaux significatifs au point de jonction.



### 2.3.2 Normes V11 (RS422 et RS485)

La norme V11 définit les caractéristiques électriques des signaux sur un support de transmission différentiel : deux fils correspondant à des niveaux complémentaires sont utilisés pour chaque signal ce qui assure, dans tous les cas, une tension différentielle équilibrée et limite l'influence des sources de bruits extérieurs et des masses (figure 2.8).



Cette norme est utilisée pour des transmissions sur de plus grandes distances et pour des débits plus élevés, et est équivalente à la norme EIA RS422 ; la norme RS485 intègre en plus des circuits trois états permettant des liaisons multipoints avec un maximum de 64 nœuds, elle est fréquemment utilisée dans les réseaux locaux industriels.

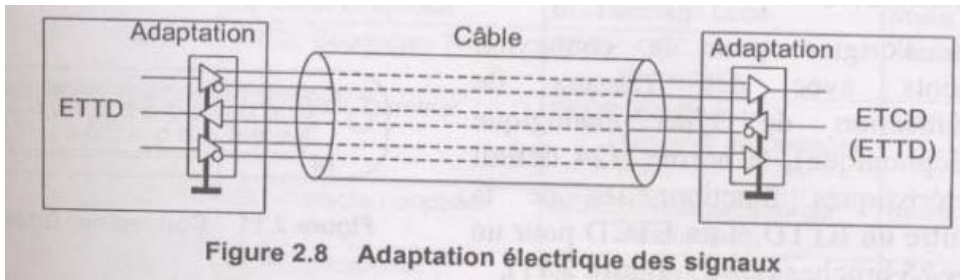


Figure 2.8 Adaptation électrique des signaux

La figure 2.9 schématise le circuit de jonction équivalent. Dans cette représentation, le câble fait partie de l'ETTD. Le point de jonction C correspond à la référence 0V et peut être connecté au circuit terre. L'utilisation d'une résistance de terminaison de câble ( $Z_t$ ) est optionnelle et dépend de l'application ; elle permet, en adaptant l'impédance de la charge, de conserver le temps de montée du signal et de réduire les réflexions.

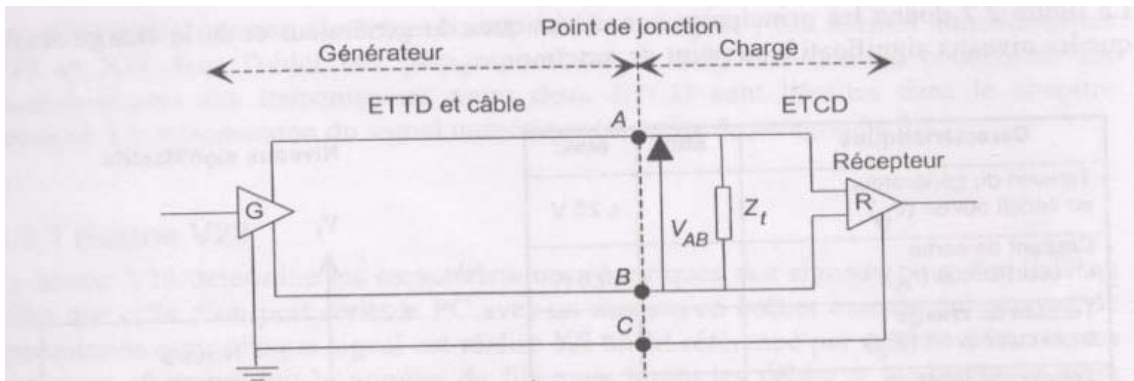


Figure 2.9 Circuit de jonction équivalent

La figure 2.10 résume les principales caractéristiques de la norme.

Caractéristiques	Min.	Max.
Tension du générateur en circuit ouvert ( $V_{AB}$ )		$\pm 6$ V
Courant de sortie en court-circuit ( $I_O$ )		150 mA
Résistance interne du générateur	50 $\Omega$	100 $\Omega$
Résistance totale de charge	100 $\Omega$	
Support	paire différentielle	
Vitesse	10 Mbit/s	
Longueur du câble	10 m - 1 km	

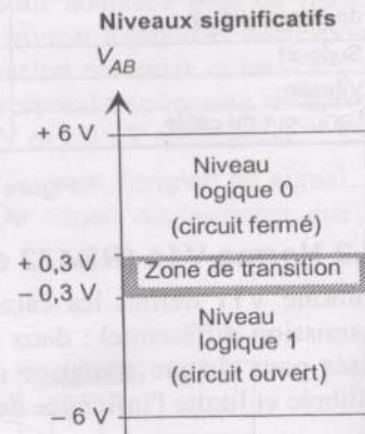


Figure 2.10 Principales caractéristiques

## 2.4 LIAISON V24 (RS232 ET RS449)

### 2.4.1 Définitions

Conçue à l'origine pour la connexion d'équipements avec des réseaux de télécommunication de type analogique (réseau téléphonique), la norme V24 définit les caractéristiques fonctionnelles de la jonction entre un ETTD et un ETCD pour un connecteur 25 broches (DB25, figure 2.11).

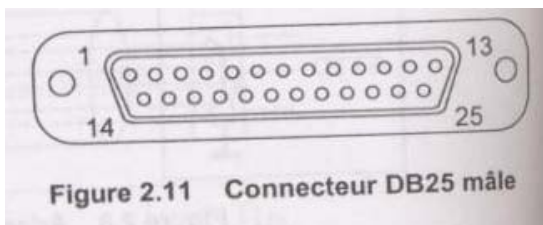


Figure 2.11 Connecteur DB25 mâle

A chaque broche correspond un circuit, dit *circuit de jonction*, son numéro d'identification, ou numéro de circuit, et sa fonction spécifique.

La norme V24 est fonctionnellement équivalente à la norme RS232 ; la norme RS449 (V36) très proche définit les interfaces fonctionnelles et mécaniques pour des transmissions généralement synchrones jusqu'à 2 Mbit/s, elle est associée à la norme V11 sur un connecteur 37 broches (DB37).

Le tableau suivant présente les principaux circuits de jonction et pour chaque circuit les identifications V24 ainsi que leurs équivalences RS232. On trouve également les abréviations françaises et anglo-saxonnes décrivant la fonction réalisée ainsi que le type de signal transmis sur le circuit (donnée, contrôle, synchronisation ou maintenance) et son sens de transfert.

**Tableau 2.2 Principaux circuits V24**

N° de broche	Circuit RS232	Circuit V24	Description RS232	Description V24	Type	Origine
1	AA	101	PG: Protective Ground	TP: Terre de Protection		
2	BA	103	TD: Transmitted Data	ED: Emission de Données	donnée	ETTD
3	BB	104	RD: Received Data	RD: Réception de Données	donnée	ETCD
4	CA	105	RTS: Request To Send	DPE: Demande Pour Emettre	contrôle	ETTD
5	CB	106	CTS: Clear To Send	PAE: Prêt A Emettre	contrôle	ETCD
6	CC	107	DSR: Data Set Ready	PDP: Poste de Données Prêt	contrôle	ETCD
7	AB	102	SG: Signal Ground	TS: Terre de Signal		
8	CF	109	RLSD/DCD: Data Carrier Detect	DP: Détection de Porteuse	contrôle	ETCD
12	SCF	122	SRLSD: Secondary RLSD	SDP: DP sur voie secondaire	contrôle	ETCD
13	SCB	121	SCTS: Secondary CTS	SPAE: PAE sur voie secondaire	contrôle	ETCD
14	SBA	118	STD: Secondary TD	SED: ED sur voie secondaire	donnée	ETTD
15	DB	114	TC: Transmit Clock (DCE)	BTE: Base de Temps pour Emission	synchro	ETCD
16	SBB	119	SRD: Secondary RD	SRD: RD sur voie secondaire	donnée	ETCD
17	DD	115	RC: Receive Clock (DCE)	BTR: Base de Temps pour Réception	synchro	ETCD
18		141	LL: Local Loopback	BL: Bouclage Local	maint.	ETTD
19	SCA	120	SRTS: Secondary RTS	SDPE: DPE sur voie secondaire	contrôle	ETTD
20	CD	108.2	DTR: Data Terminal Ready	ETDP: Equipement Terminal de Données Prêt	contrôle	ETTD
21		140	RM: Remote Loopback	BEM: Bouclage/Essai de Maintenance	maint.	ETTD
22	CE	125	RI: Ring Indicator	IA: Indicateur d'Appel	contrôle	ETCD
23	CH	111	DSRS: Data Signal Rate Selector	SDB: Sélecteur de Débit Binaire	contrôle	ETTD
24	DA	113	TC : Transmit Clock (DTE)	BEM: Base de Temps pour Emission	synchro	ETTD
25		142	TI : Test Indicator	IE: Indicateur d'Essais	maint.	ETCD

Le circuit 101 correspond à la masse mécanique et doit être relié au châssis de l'appareil ; le circuit 102 correspond au potentiel commun de référence pour tous les signaux de la liaison. Les signaux de synchronisation (circuit 113, 114 et 115) sont utilisés en transmission synchrone, ils fournissent une base de temps permettant de synchroniser l'ETTD et l'ETCD.

La norme V24 définit une voie secondaire (circuits 118 à 122) dont les signaux sont identiques à ceux de la voie principale ; cette voie peut être utilisée pour des transferts semi-duplex avec voie de retour asymétrique (débits différents sur les deux voies).

Les circuits 140, 141 et 142 sont utilisés pour la maintenance de la liaison (voir paragraphe 2.4.4). Les circuits de la série 200 (circuits 201 à 213), non représentés ici, sont réservés aux procédures d'appel automatique en mode parallèle et sont décrits par la recommandation V25. Les procédures d'appel automatique en mode série utilisent les circuits de la série 100 (circuits 103, 104, 106, 107, 108.2 et 125) et sont définies dans la recommandation V25 bis.

Le rôle des différents signaux de contrôle (circuits 105 à 109) est décrit au paragraphe 2.4.2.

Certains systèmes utilisent des connecteurs 9 broches (DB9), non normalisés, regroupant les signaux essentiels à la liaison (voir figure 2.12 et tableau 2.3).

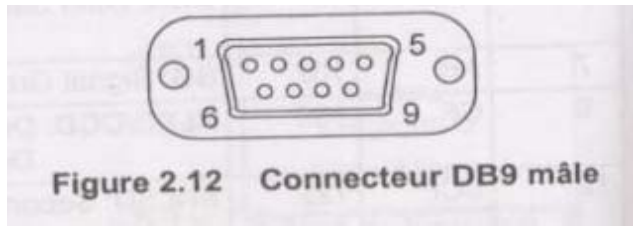


Tableau 2.3 Correspondance DB25 – DB9

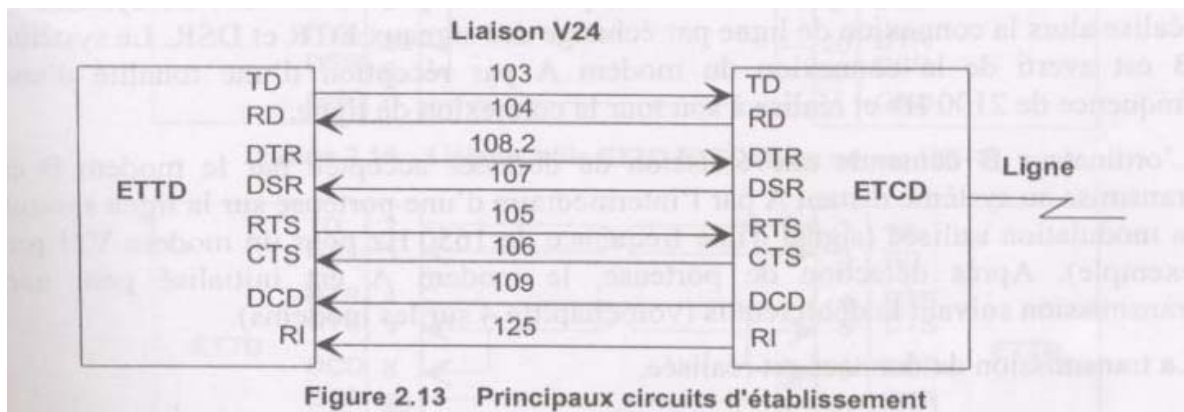
N° de broche DB9	N° de broche DB25	Signal
3	2	TD
2	3	RD
7	4	RTS
8	5	CTS
6	6	DSR
5	7	SGround
1	8	DCD
4	20	DTR
9	22	RI

#### 2.4.2 Etablissement d'une liaison V24

Les principaux circuits participant à l'établissement d'une liaison V24 ou RS232 sont les suivants (figure 2.13) :

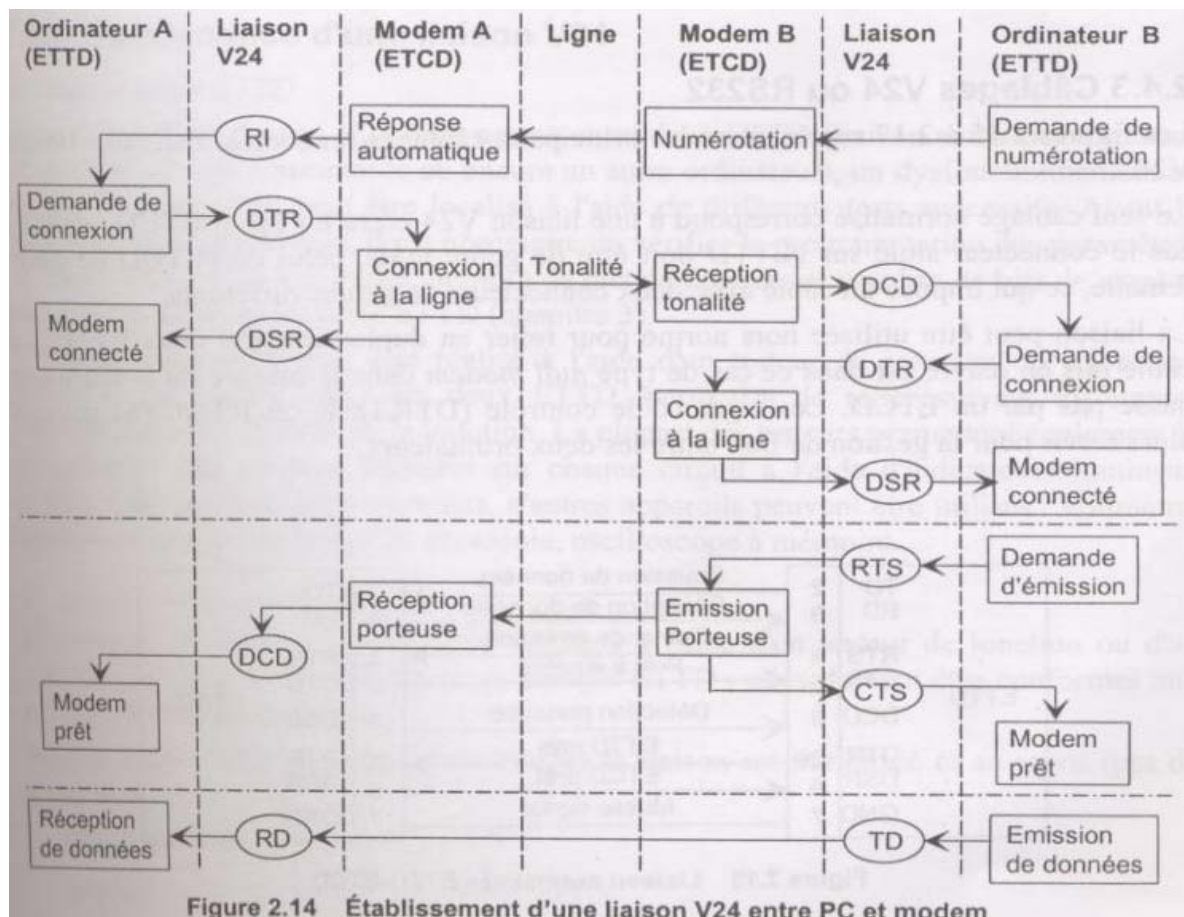
- circuits de connexion de ligne 108.2 et 107 correspondant aux signaux de contrôle DTR et DSR (signaux de type *handshake*) ;
- circuits de validation de l'émission 105 et 106 correspondant aux signaux de contrôle RTS et CTS (signaux de type *handshake*) ;
- circuit de détection de porteuse 109 correspondant au signal DCD et permettant de valider la réception ;
- circuit indicateur d'appel 125 correspondant au signal RI et signalant un appel reçu sur la ligne par l'ETCD.

Les circuits 105 RTS et 106 CTS d'une part, 108.2 DTR et DSR d'autre part, peuvent faire l'objet d'un protocole spécifique lors d'une liaison hors norme entre ETTD (voir chapitre sur la transmission asynchrone et synchrone).



Les circuits 105 à 108.2 sont considérés comme fermés, donc activés, lorsque les signaux correspondants sont au niveau logique 0, soit pour des tensions positives sur le câble.





La figure 2.14 décrit les trois phases d'établissement, d'initialisation et de transfert de données en mode semi-duplex entre deux systèmes distants :

- Le système B émetteur numérote vers le système A récepteur. Si la ligne est libre, l'appel aboutit et le circuit de détection d'appel du modem A relaie la demande suivant la procédure de réponse automatique décrite par l'avis V25. Le système A réalise alors la connexion de ligne par échange des signaux DTR et DSR. Le système B est averti de la connexion du modem A par réception d'une tonalité d'une fréquence de 2100 Hz et réalise à son tour la connexion de ligne.

- L'ordinateur B demande une émission de données acceptée par le modem B et transmise au système distant A par l'intermédiaire d'une porteuse sur la ligne suivant la modulation utilisée (signal d'une fréquence de 1650 Hz pour un modem V21 par exemple). Après détection de porteuse, le modem A est initialisé pour une transmission suivant le débit requis (voir chapitre 4 sur les modems).

- La transmission de données est réalisée.

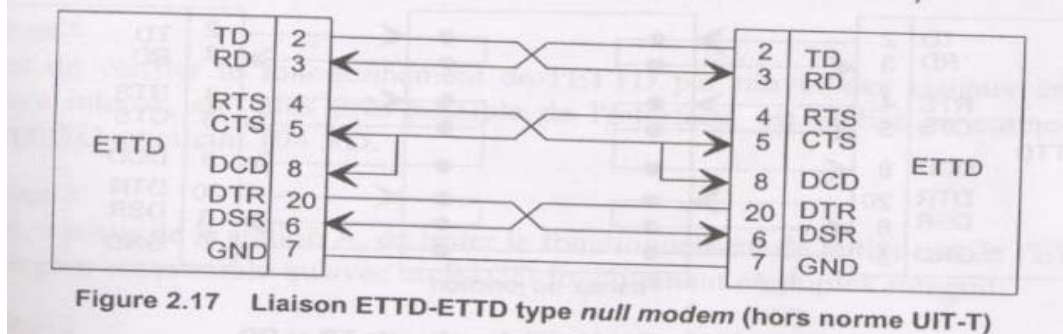
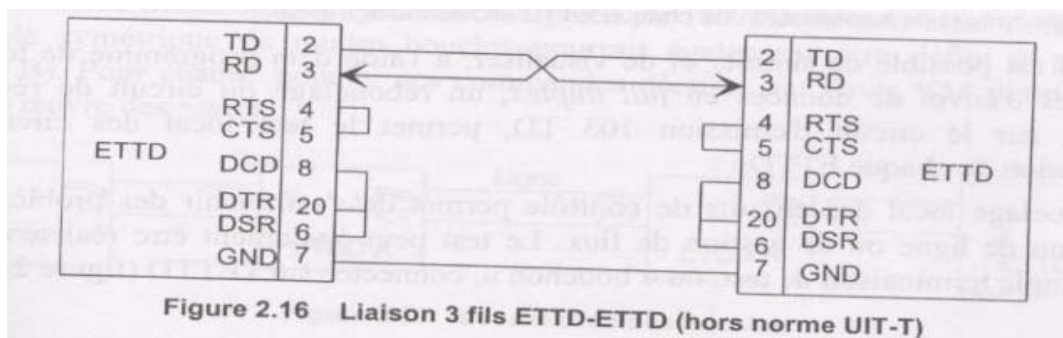
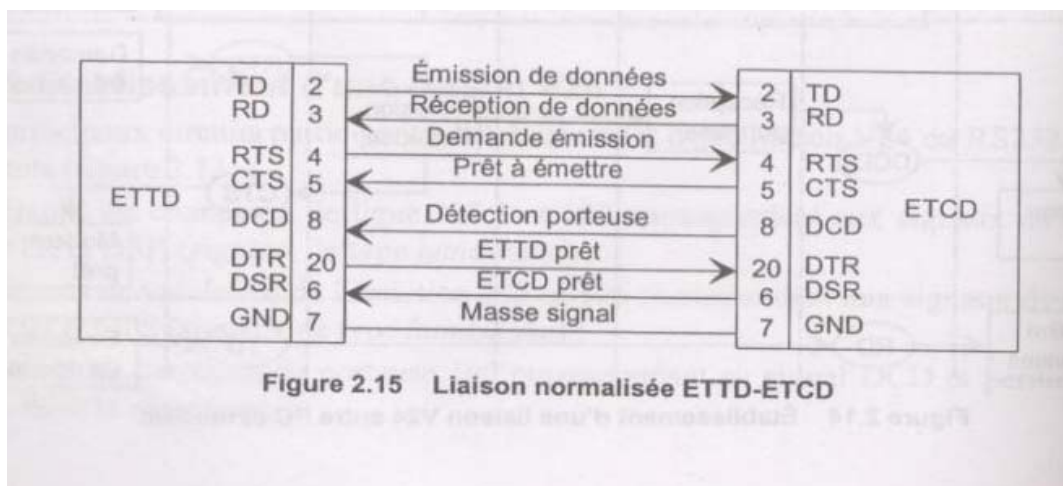
Les séquences d'initialisation de l'émetteur et du récepteur sont transportables pour un transfert en duplex intégral, seules les fréquences des porteuses changent suivant le sens de transmission.

### 2.4.3 Câblages V24 ou RS232

Les figures 2.15 à 2.17 représentent les principaux câblages rencontrés dans une liaison V24.

Le seul câblage normalisé correspond à une liaison V24 entre ETTD et ETCD ; dans ce cas le connecteur situé sur l'ETTD doit être de genre mâle, celui de l'ETCD de genre femelle, ce qui impose un câble avec deux connecteurs de genres différents.

La liaison peut être utilisée hors norme pour relier en duplex intégral deux ETTD. Le câble mis en œuvre est dans ce cas de type *null modem* (pas de modem) dans la mesure où la liaison ne passe par un ETCD. Les signaux de contrôle (DTR/DSR ou RTS/CTS) peuvent alors servir pour la gestion de flux entre les deux ordinateurs.



#### 2.4.4 Maintenance d'une liaison V24

##### a) Liaison entre ETTD

Dans le cas d'une liaison V24 hors norme entre deux ETTD (liaison entre ordinateur et un terminal, une imprimante ou encore un autre ordinateur), un dysfonctionnement au niveau de la jonction peut être localisé à l'aide de différents tests successifs. Avant la mise en œuvre de ces tests, il est nécessaire de vérifier la programmation des paramètres de transmission (vitesse, parité, nombre de bits de données et nombre de bits de stop) et leur cohérence entre les deux ETTD (chapitre 3).

L'ensemble des tests peut être réalisé à l'aide d'un testeur de jonction ou « jonction éclatée », qui, inséré entre les deux ETTD, permettra de relier suivant différentes configurations les circuits de la jonction. La plupart des testeurs permettent également la visualisation des niveaux logiques sur chaque circuit à l'aide d'indicateurs lumineux (LED). Pour des tests plus complets, d'autres appareils peuvent être utilisés : voltmètre, analyseur logique, analyseur de protocole, oscilloscope à mémoire.

##### > Test des niveaux significatifs

Les valeurs de tension peuvent être vérifiées à l'aide d'un testeur de jonction ou d'un voltmètre au niveau du connecteur de chaque ETTD ; elles doivent être conformes aux normes électriques utilisées.

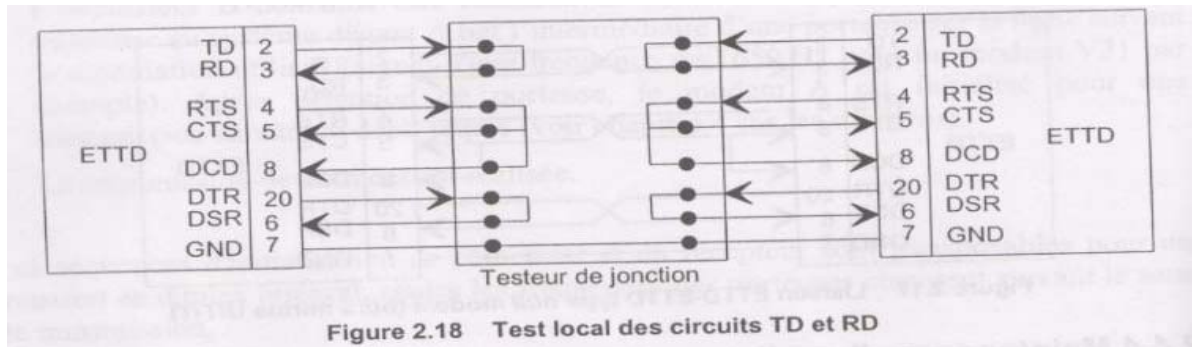
Pour la norme V28, on doit trouver lorsque la liaison est initialisée et au repos (pas de transmission) :

- broches 2 et 3 :  $-25V \leq V_1 \leq -3V$  ;
- broches 4 - 5 - 6 - 8 - 20 :  $3V \leq V_1 \leq 25V$ .

> Test des circuits de transmission de chaque ETTD en rebouclage local

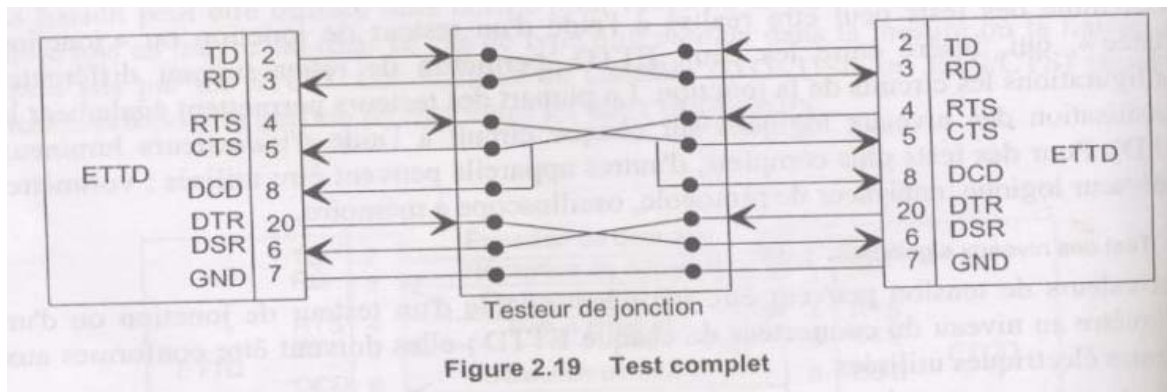
Lorsqu'il est possible de simuler et de visualiser, à l'aide d'un programme de test, des séquences d'envoi de données en *full duplex*, un rebouclage du circuit de réception 104 RD, sur le circuit d'émissions 103 TD, permet le test local des circuits de transmission de chaque ETTD.

Le rebouclage local des circuits de contrôle permet de s'affranchir des problèmes de connexion de ligne ou de gestion de flux. Le test peut également être réalisé à l'aide d'une simple terminaison de test, ou « bouchon », connectée sur l'ETTD (figure 2.18).



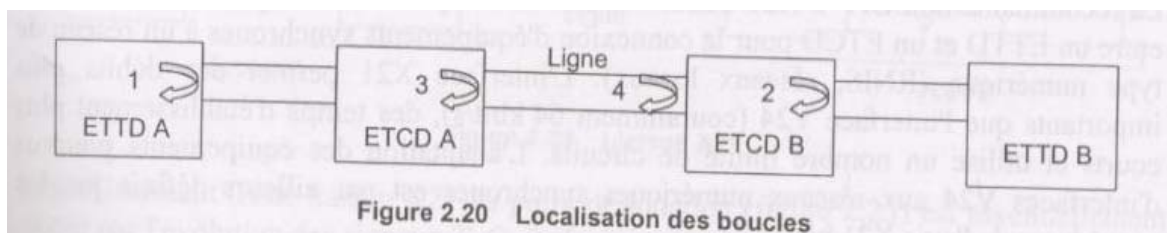
> Test des circuits de transmission et de contrôle entre ETTD

Les liaisons décrites à la figure 2.19 permettent en *half duplex* ou *full duplex* de tester l'ensemble des circuits de transmission et de contrôle (ETTD, connecteurs et câble). Il est recommandé d'établir successivement les liaisons croisées TD-RD, RTS-CTS et DTR-DSR. Les circuits 108 DTR, 107 DSR, 105 RTS et 106 CTS pouvant faire l'objet d'un protocole spécifique non normalisé (voir chapitre 3), il convient de procéder à des essais de câblage (voir paragraphe 2.4.3).



**b) Liaison complète**

Dans le cas d'une liaison entre deux systèmes intégrant chacun des modems, les tests et la maintenance peuvent être réalisés suivant l'avis V54 de l'UIT-T qui définit des procédures d'essais en boucle (voir figure 2.20). Quatre boucles numérotées et localisées à partir de l'ETTD A sont ainsi définies (un ensemble symétrique de quatre boucles pourrait également être défini à partir de l'ETTD B). Pour chaque boucle, des commandes décrites par l'avis V54 permettent la mise en œuvre des essais.



> Bouclage 1

Il permet de vérifier le fonctionnement de l'ETTD par renvoi des signaux émis. Un rebouclage interne, au plus près possible de l'interface, est réalisé en connectant le circuit 103 TD au circuit 104 RD.



### > Bouclage 2

Il permet, à partir de la station A, de tester le fonctionnement de la ligne et de l'ETCD B. Ce bouclage n'est possible qu'avec un ETCD fonctionnant en duplex intégral.

### > Bouclage 3

Bouclage local, réalisé en mode analogique aussi près que possible de la ligne, qui permet de vérifier le fonctionnement de l'ETCD. Pratiquement, le bouclage est réalisé suivant les caractéristiques du modem et de la ligne de transmission (ligne à deux ou à quatre fils).

### > Bouclage 4

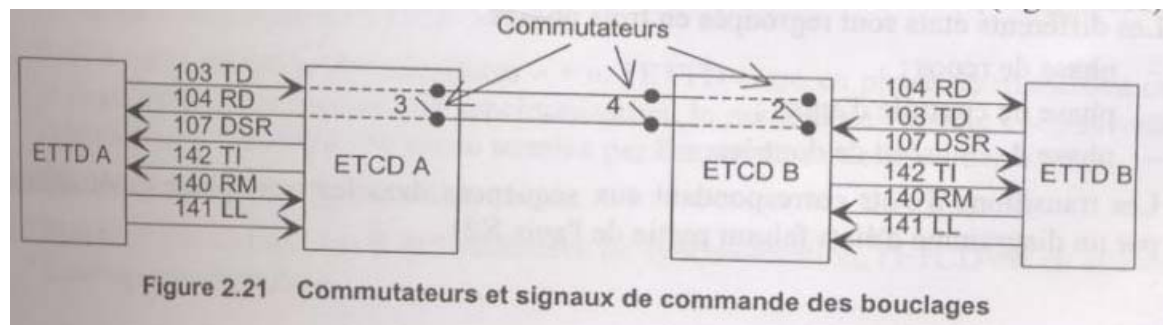
Ne pouvant être effectués que sur des lignes à quatre fils, ce bouclage est destiné à la maintenance des lignes (réservé à l'administration sur les réseaux publics).

Le renvoi de la paire de réception sur la paire d'émission modifie la longueur de la ligne et par conséquent le circuit de données ; des tests basés sur des transmissions de données sont donc impossibles, il faut effectuer des mesures analogiques.

Pour la localisation d'un défaut sur une liaison V24, il est conseillé d'effectuer dans l'ordre les boucles 1 (test ETTD A), 3 (test ETCD A) et 2 (test ligne et ETCD B).

### > Commande des bouclages

La commande peut être manuelle à partir d'un commutateur placé sur l'un des ETCD ou automatique en utilisant les circuits 140, 141 et 142 définis dans l'avis V24 (figure 2.21).

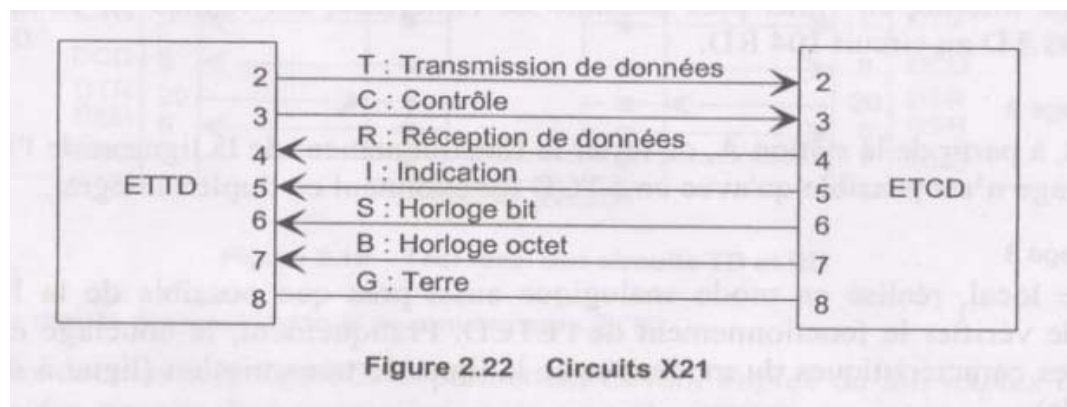


## 2.5 LIAISON X21

### 2.5.1 Définition

La recommandation UIT-T X21 définit les caractéristiques fonctionnelles de la jonction entre un ETTD et un ETCD pour la connexion d'équipements synchrones à un réseau de type numérique (RNIS, réseaux locaux). L'interface X21 permet des débits plus importants que l'interface V24 (couramment 64 kbit/s), des temps d'établissement plus courts et utilise un nombre limité de circuits. L'adaptation des équipements pourvus d'interfaces V24 aux réseaux numériques synchrones est par ailleurs définie par les procédures de l'avis X21 bis.

La figure 2.22 présente les différents circuits de la jonction X21 ainsi que les numéros de broche correspondant au connecteur 15 broches défini par la norme ISO 4903.



Les signaux d'horloge S et B fournis par l'ETCD permettent de synchroniser l'ETTD au niveau bit et au niveau caractère ; une période d'horloge du signal B correspond à la durée de transmission d'un caractère.

Le contrôle de la liaison se fait à l'aide des signaux de commande C et I, et l'échange de données sur T et R.

Suivant les niveaux logiques présents sur ces signaux, l'interface ETTD-ETCD se trouve dans un état défini (prêt, non prêt, demande d'appel ...).

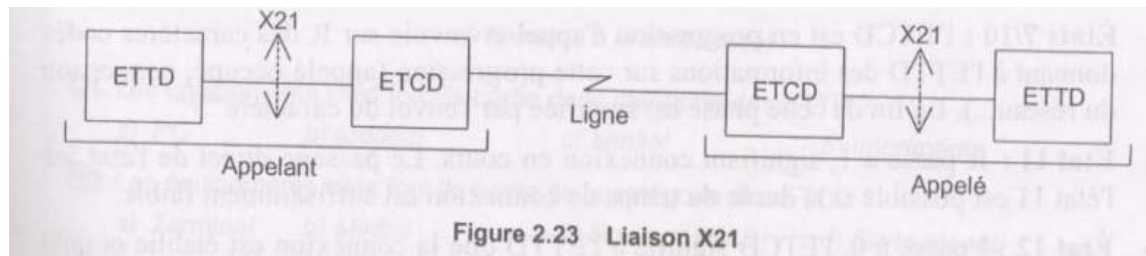
A chaque état correspond un niveau logique fixe pour les signaux de contrôle C et I et à l'émission de séquences de 0 et de 1 ou de caractères codés en ASCII pour les signaux de données T et R (contrairement à l'interface V24 où chaque commande est matérialisée par une ligne).

Les différents états sont regroupés en trois phases :

- phase de repos ;
- phase de contrôle d'appel ;
- phase de transfert de données.

Les transitions d'états correspondant aux séquences dans les trois phases sont définies par un diagramme d'états faisant partie de l'avis X21.

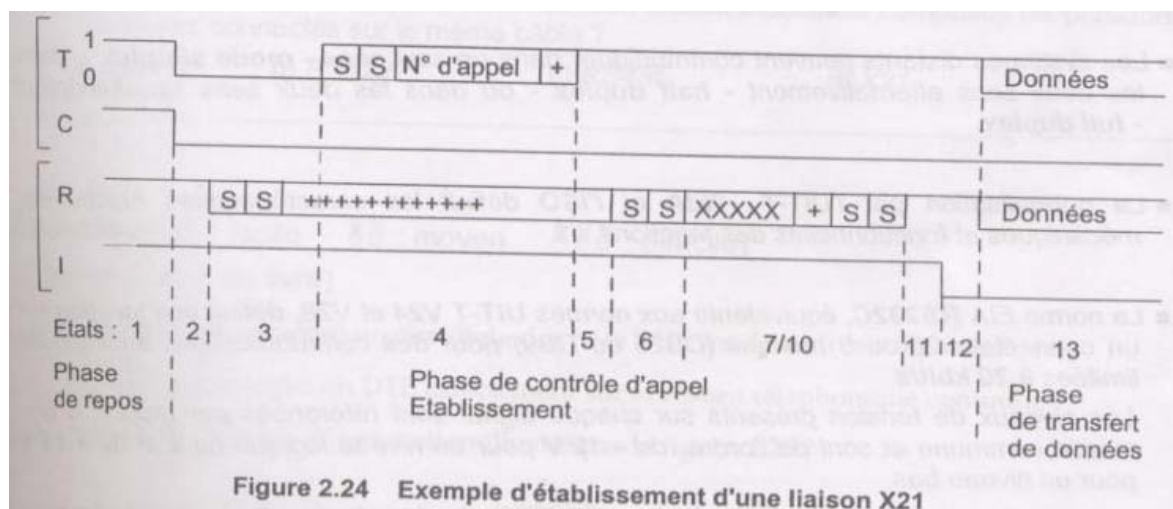
### 2.5.2 Etablissement d'une liaison X21



L'établissement d'une liaison X21 au point de jonction (figure 2.23) est essentiellement décrit par l'évolution des signaux T, C, R, I.

Les chronogrammes de la figure 2.24 représentent les différents états lors de l'établissement d'une liaison, seuls sont représentés les signaux de l'ETTD et de l'ETCD du système appelant. Les états relatifs aux phases successives ne sont pas tous représentés (ETTD non prêt, ETCD en attente, collision ...).

Les circuits sont considérés comme fermés lorsque les signaux correspondant sont au niveau logique 0, ou pour des tensions positives sur le câble (la norme X21 étant généralement associée à la norme V11).



- **Etat 1** l'ETTD et ETCD sont prêts.

- **Etat 2** : T et C passent à 0 signifiant une demande d'appel de la part de l'ETTD.

- **Etat 3** : l'ETCD envoie sur le circuit R une suite de caractères « + » précédés de deux ou plus caractères de synchronisation (S) et positionne I à 1, ce qui signale une invitation à numérotter à l'ETTD.

- **Etat 4** : à la réception des caractères « + », l'ETTD entre en phase de numérotation et émet, après des caractères de synchronisation, le numéro de l'appelé codé suivant l'alphabet n°5. La numérotation se termine par l'envoi du caractère « + ».
- **Etat 5** : T passe à 1, l'ETTD est en attente.
- **Etat 6** : l'ETCD émet sur R des caractères de synchronisation, l'ETCD est en attente d'une réponse du réseau.
- **Etat 7/10** : l'ETCD est en progression d'appel et envoie sur R des caractères codés donnant à l'ETTD des informations sur cette progression (appelé occupé, congestion du réseau ...). La fin de cette phase est signifiée par l'envoi du caractère « + ».
- **Etat 11** : R passe à 1, signifiant connexion en cours. Le passage direct de l'état 5 à l'état 11 est possible si la durée du temps de connexion est suffisamment faible.
- **Etat 12** : I passe à 0, l'ETCD signifie à l'ETTD que la connexion est établie et qu'il est prêt pour les données.
- **Etat 13** : la transmission des données est effective.

#### -- Résumé --

- Les systèmes informatiques communicants sont composés d'**ETTD** pour le **traitement des données** et d'**ETCD** pour le **raccordement à la ligne**. Ces deux éléments essentiels sont reliés par une **jonction normalisée**.
  - Les systèmes distants peuvent communiquer dans un seul sens – **mode simplex** –, dans les deux sens alternativement – **half duplex** – ou dans les deux sens simultanément – **full duplex**. (download et upload en même temps).
  - La normalisation par l'**UIT-T**, l'**EIA** et l'**ISO** définit les caractéristiques électriques, mécaniques et fonctionnelles des jonctions.
  - La norme EIA **RS232C**, équivalente aux normes **UIT-T V24** et **V28**, définit une jonction sur un connecteur 25 ou 9 broches (DB25 ou DB9) pour des communications analogiques limitées à **20 kbit/s**.
- Les niveaux de tension présents sur chaque signal sont référencés par rapport à une masse commune et sont de l'ordre de **- 12V** pour un niveau logique haut et de **+ 12V** pour un niveau bas.
- Les circuits essentiels correspondent aux signaux de données en émission et réception **TD (Transmitted Data : Emission de Données : ETTD)** et **RD (Received Data : Réception de Données : ETCD)**, aux signaux de connexion de ligne **DTR (Data Terminal Ready : Equipement Terminal de Données Prêt : sous tension : ETTD)** et **DSR (Data Set Ready : Poste de Données Prêt : sous tension : ETCD)**, aux signaux de validation de l'émission **RTS (Request to Send : Demande pour Emettre : ETTD)** et **CTS (Clear to Send : Prêt à Emettre : ETCD)** et au signal de détection de porteuse **DCD (Data Carrier Detect : Détection de Porteuse : ETCD)**.
- La jonction RS232C peut être utilisée hors norme pour relier deux ETTD à l'aide d'un câblage croisé type **nul-modem** (pas de modem). Dans ce cas, les signaux RTS/CTS ou DTR/DSR peuvent être employés pour le contrôle de flux.
- La norme **RS422** (V11), proche de RS232, permet d'obtenir des débits jusqu'à 10 Mbit/s en utilisant des paires différentielles pour le transport des signaux. La variante **RS449** présente les mêmes caractéristiques avec des sorties trois états pour une exploitation multipoints.
  - La liaison **X21** permet de connecter des équipements numériques avec un nombre limité de signaux et des débits de l'ordre de **64 kbit/s**.



## QCM

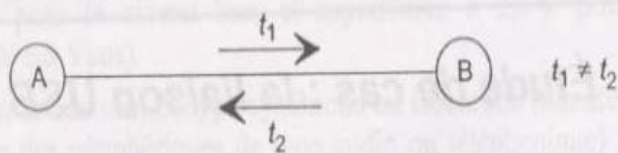
(réponses à la fin du livre)

- Q1. Les équipements cités font-ils partie de la catégorie des ETTD ?  
a) PC      b) Modem      c) Minitel      d) Imprimante
- Q2. Les équipements cités font-ils partie de la catégorie des ETCD ?  
a) Terminal      b) Minitel      c) Routeur RNIS      d) Carte réseau
- Q3. Quel est le mode d'exploitation utilisé dans une communication par Minitel ?  
a) Simplex      b) Half duplex      c) Full duplex
- Q4. Quel signal V24 permet de transmettre une indication de détection de porteuse sur la ligne ?  
a) CTS      b) RI      c) DCD
- Q5. Pour qu'une transmission de données puisse avoir lieu sur une liaison RS232, quelle doit être la tension sur la broche 6 d'un connecteur DB25 ?  
a) -12 V      b) 6 V      c) 0 V      d) 12 V
- Q6. Quelle norme retrouve-t-on sur des réseaux locaux industriels composés de plusieurs automates connectés sur le même câble ?  
a) RS232      b) RS422      c) RS485      d) X21

## Exercices (☺ : facile ☺☺ : moyen ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

- ☺ De quoi est composé un circuit de données ? Un modem en fait-il partie ?
- ☺ Peut-on connecter un DTE directement sur le réseau téléphonique commuté ?
- ☺ Quel est le mode d'exploitation illustré par la figure 2.25 ?



- ☺ Combien de fils au minimum sont-ils nécessaires, au niveau de la jonction, pour réaliser une transmission en *full duplex* ?
- ☺☺ Même question au niveau de la ligne de transmission.
- ☺ Les normes RS232C et V24 sont-elles équivalentes ?
- ☺ L'avis V24 du UIT-T concerne la jonction à la ligne, la jonction au terminal ou les caractéristiques du modem ?
- ☺ Quel est le débit maximum autorisé sur une liaison RS232 ?

9. 🐛 Quelles sont, pour une liaison RS232, les valeurs de tension mesurées sur le câble et sur le connecteur ?
10. 🐛🐛 Sur une liaison à la norme V28, quelles sont les valeurs de tension de jonction sur charge passive ?
11. 🐛 Combien de fils au minimum sont-ils nécessaires sur le câble pour une liaison RS422 en *full duplex* ?
12. 🐛 Quelles sont, pour une liaison V11, les valeurs de tension mesurées sur le câble ?
13. 🐛 Dans une liaison V24, quels sont les signaux de réponse aux signaux DTR et RTS ?
14. 🐛🐛 Pour quel niveau logique les signaux de contrôle d'une liaison V24 sont-ils considérés comme actifs ? Quels sont les états correspondant des circuits (ouvert ou fermé) et les valeurs de tension sur le câble ?
15. 🐛🐛🐛 Établir les chronogrammes des signaux correspondant à l'établissement d'une liaison V24 en *half duplex* entre deux systèmes distants ; préciser les différentes phases.
16. 🐛🐛 Dans une liaison X21, quels signaux participent à l'établissement de la liaison ?
17. 🐛🐛 Dans une liaison X21, comment l'ETTD signifie-t-il à l'ETCD qu'il désire transmettre ? Comment l'ETCD signale-t-il que la transmission de données peut commencer ?
18. 🐛🐛🐛 Établir le schéma complet des connexions correspondant à une liaison V24 entre deux ETTD décrite par la figure 2.26.

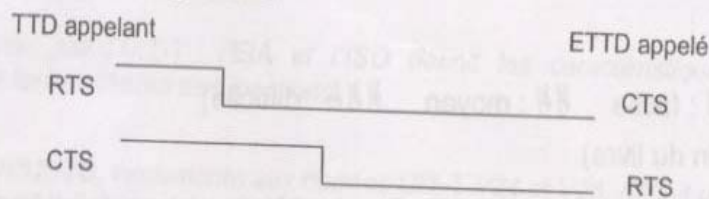


Figure 2.26

## Chapitre 2

### QCM

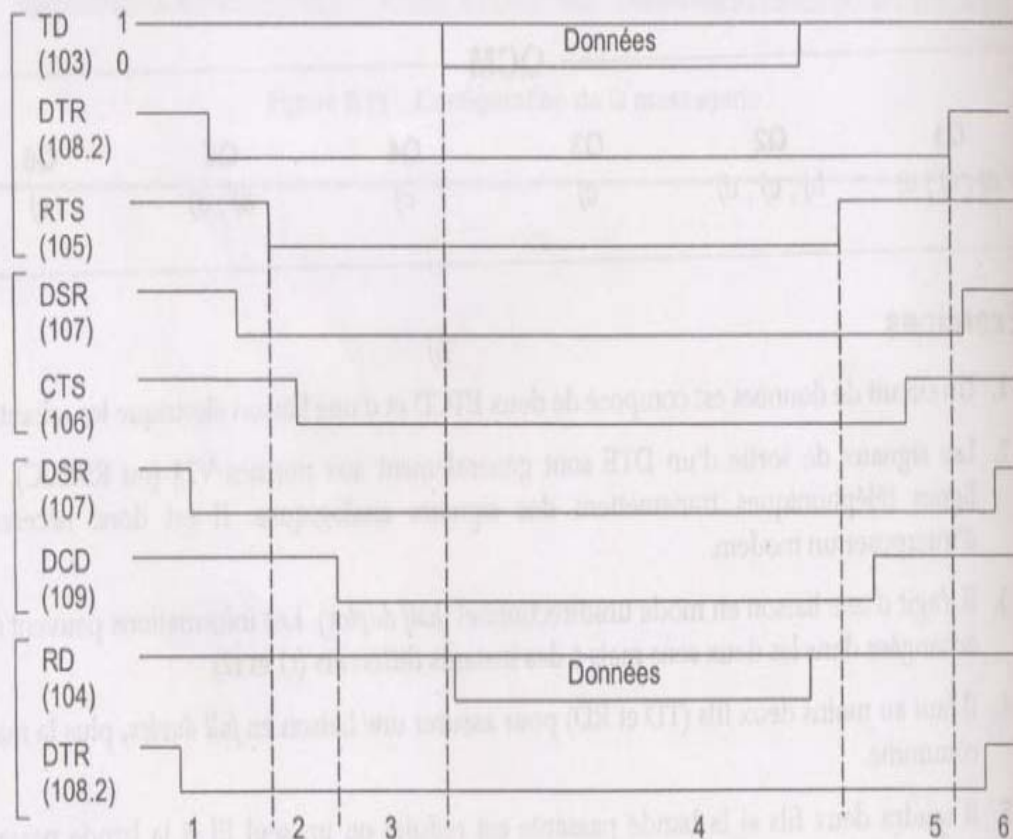
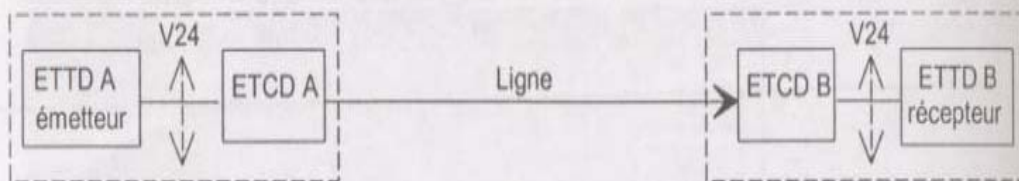
Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
a) ; c) ; d)	b) ; c) ; d)	c)	c)	b) ; d)	c)

### Exercices

1. Un circuit de données est composé de deux ETCD et d'une liaison électrique les reliant.
2. Les signaux de sortie d'un DTE sont généralement aux normes V24 (ou RS232C). Les lignes téléphoniques transmettent des signaux analogiques. Il est donc nécessaire d'interposer un modem.
3. Il s'agit d'une liaison en mode unidirectionnel (*half duplex*). Les informations peuvent être échangées dans les deux sens mais à des instants différents ( $t_1$  et  $t_2$ ).
4. Il faut au moins deux fils (TD et RD) pour assurer une liaison en *full duplex*, plus la masse commune.
5. Il faudra deux fils si la bande passante est réduite ou un seul fil si la bande passante permet l'utilisation de deux porteuses distinctes, plus la masse commune.
6. La norme RS232C regroupe les normes V24 et V28.



7. L'avis V24 définit les caractéristiques fonctionnelles de la jonction entre ETTD et ETCD. Il définit donc la jonction au terminal.
8. Le débit maximum autorisé est de 20 Kbit/s. Ce débit peut être dépassé mais au détriment d'autres performances définies par la norme RS232 (distance maximum de transmission par exemple).
9. Les tensions sont comprises entre + 3 V et + 25 V pour un niveau logique 0 et entre - 3 V et - 25 V pour un niveau logique 1.
10. Sur charge passive, la tension de jonction est comprise entre + 5 V et + 15 V (ou - 5 V et - 15 V).
11. La liaison RS422 utilisant des tensions différentielles nécessite deux fils par voie, soit quatre fils pour une liaison full duplex.
12. Pour une liaison V11, la valeur maximale de tension est de + 6 V (ou - 6 V), la valeur minimale est de + 0,3 V (ou - 0,3 V).
13. Les signaux de réponse aux signaux DTR et RTS sont respectivement DSR (*Data Set Ready*) et CTS (*Clear To Send*).
14. Les signaux de contrôle sont actifs au niveau logique 0, les circuits sont alors fermés, et les tensions, sur le câble, positives.
15. Etablissement d'une liaison *half-duplex* entre deux systèmes distants A et B.





- Phase 1 : connexion de ligne sur les systèmes A et B, les signaux DTR et DSR peuvent être validés suite à une procédure de réponse automatique transmise par le circuit 125 (RI).
- Phase 2 : validation de l'émission sur A (RTS=0 et CTS=0), l'ETCD A émet une porteuse sur la ligne (signal d'une fréquence de 1650 Hz pour un modem V21 par exemple).
- Phase 3 : détection de porteuse par l'ETCD B (DCD=0).
- Phase 4 : transmission de données.
- Phase 5 : arrêt de l'émission sur A (RTS=1 et CTS=1).
- Phase 6 : déconnexion de ligne sur A et B (DTR=1 et DSR=1).

Les séquences d'initialisation de l'émetteur et du récepteur sont transposables pour un transfert en duplex intégral, seules les fréquences des porteuses changent suivant le sens de transmission.

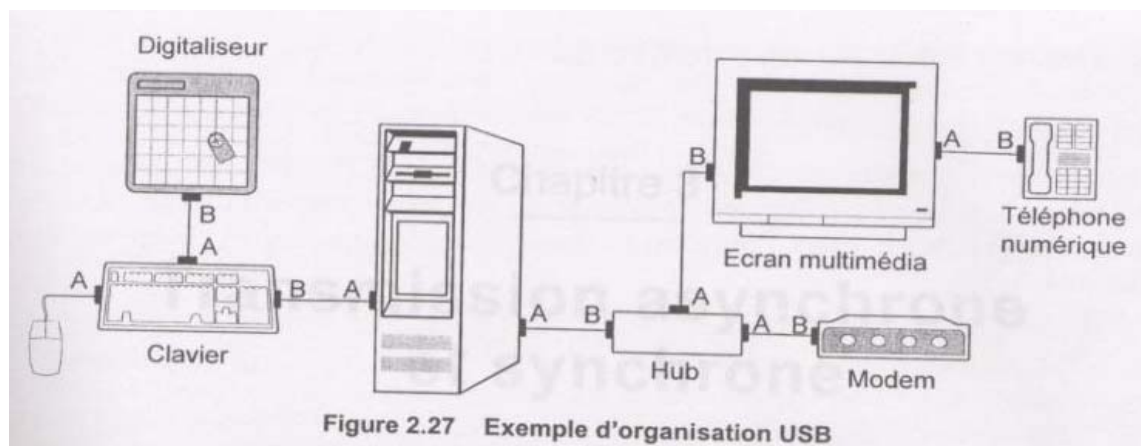
16. Les signaux intervenant dans l'établissement d'une liaison X21 sont C (contrôle), I (indication), T (transmission) et R (réception).
17. Dans une liaison X21, l'ETTD signale qu'il veut émettre en positionnant T et C à 0. L'ETCD signale qu'il est prêt à transmettre en positionnant R à 1 et I à 0.
18. Les connexions côté ETTD appelant et ETTD appelé doivent être 6-8-20 ; les liaisons entre l'ETTD appelant et l'ETTD appelé doivent être 2-3, 3-2, 4-5, 5-4, 7-7.

### ETUDE DE CAS : LA LIAISON USB

La norme USB (*Universal Serial Bus*) a été mise au point par Compaq, Digital, IBM, Intel, Microsoft et Nec pour simplifier et augmenter le nombre et les performances des raccordements série sur micro-ordinateur de type PC.

Cette technologie « plug & play » permet de connecter en série jusqu'à 127 périphériques (souris, modem, clavier, imprimante, scanner ...) sur un même canal et autorise un taux de transfert maximum de 12 Mbit/s (1,5 Mbit/s pour les périphériques lents). La version 2 de la norme permet, à terme, d'obtenir des débits de 480 Mbit/s pour la connexion de périphériques plus rapides (disques durs, lecteur CD, caméscope ...).

En standard, l'unité centrale est équipée de deux connecteurs USB permettant de raccorder directement le clavier et la souris par exemple. Les autres périphériques (*functions*) doivent passer par un boîtier de raccordement USB (un *hub*), dans la mesure où le nombre de ports s'avère insuffisant pour réaliser le chaînage de tous les périphériques (figure 2.27).



Deux types de connecteurs USB existent (voir figure 2.28) :

- type A (*downstream*) sur l'unité centrale et les sorties du hub ;
- type B (*upstream*) en entrée du hub et sur les périphériques (certains sont équipés en plus d'un connecteur de type A pour le chaînage sans hub).

Il est donc possible de chaîner jusqu'à 127 éléments les uns après les autres selon l'organisation du bus, et de débrancher n'importe lequel « à chaud » (*hot swap*).

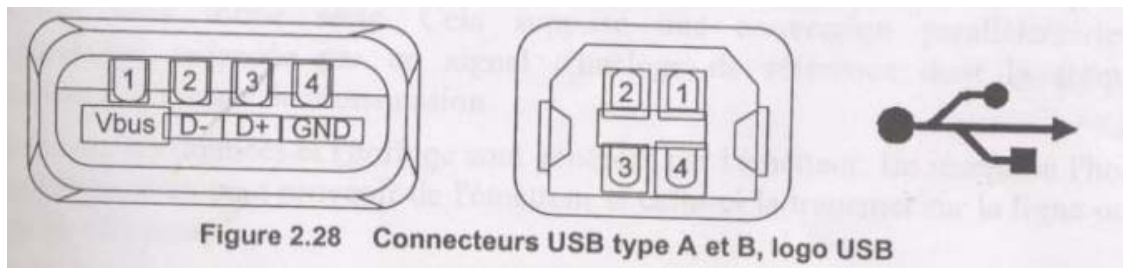


Figure 2.28 Connecteurs USB type A et B, logo USB

Les cordons de liaison sont de type AB. Ils sont constitués de 4 fils, 2 pour l'alimentation des périphériques (Vbus et GND) et 2 pour les signaux sur paire torsadée (D+ et D-), sa longueur peut atteindre 5 m, son impédance est de 80 ohms.

La transmission des signaux sur les deux fils est de type différentielle, avec des tensions inférieures à 0,3 V pour le niveau bas, et supérieures à 2,8 V pour le niveau haut (alimentation en + 5V sur Vbus).

Les transmissions sur le bus sont de type synchrone ou isochrone (transfert à intervalles de temps réguliers pour des périphériques de type audio ou téléphonique) suivant un codage NRZI.

Le PC hôte initie tous les transferts de données, l'accès au bus se fait lors d'une élection par consultation (*polling*). L'hôte commence par envoyer un paquet de commande (*token packet*) contenant le type, la direction et l'adresse du périphérique USB consulté. Le périphérique adressé peut alors participer au transfert. La source (PC hôte ou périphérique suivant la direction précisée dans le paquet de commande) transmet ses paquets de données ou indique qu'il n'a pas de données à transmettre. La destination répond avec un paquet d'acquiescement si le transfert a abouti. Un contrôle de flux est réalisé lors de la transmission de plusieurs paquets.

La consultation permet de plus de localiser les changements lors de la connexion ou la déconnexion « à chaud » d'un périphérique.

### Quelques définitions à retenir

**Impédance** : Rapport de l'amplitude complexe d'une grandeur sinusoïdale (tension électrique « différence de potentiel », pression acoustique) à l'amplitude complexe de la grandeur induite (courant électrique « correspond au débit du a une différence de potentiel », flux de vitesse), dont le module se mesure en ohms.

**Amplitude** : Différence entre la plus grande et la plus petite valeur d'une distribution statistique. Valeur de l'écart maximal d'une grandeur qui varie périodiquement.

**Analogique** : Qui représente, traite ou transmet des données sous la forme de variations continues d'une grandeur physique (opposé à numérique).

**Numérique** : Se dit de la représentation d'informations ou de grandeurs physiques au moyen de caractères, tels que des chiffres, ou au moyen de signaux à valeurs discrètes (digital, numérique).

**Grandeur** : Ce qui peut être estimé, mesuré. On peut estimer une dimension, une longueur, etc ...

## Chapitre 3

### Transmission asynchrone et synchrone

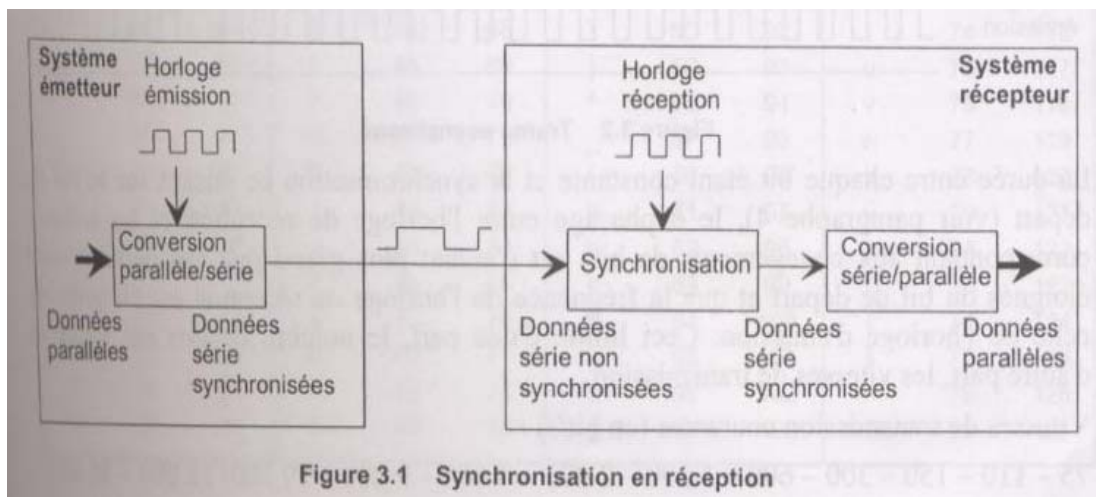
#### 3.1 PRINCIPE

Les informations traitées sous forme parallèle dans les systèmes téléinformatiques sont transmises sous forme série. Cela suppose une conversion parallèle/série (ou série/parallèle) cadencée (donner un rythme régulier) par un signal d'horloge de référence dont la fréquence correspond à la vitesse de transmission.

En émission, les données et l'horloge sont générées par l'émetteur. En réception l'horloge de synchronisation peut provenir de l'émetteur si celui-ci la transmet sur la ligne ou être interne au récepteur.

Dans le premier cas, on parle de transmission synchrone car l'émetteur et le récepteur sont synchronisés sur la même horloge de référence.

Dans le deuxième cas, la transmission est dite asynchrone ou arithmique, le récepteur doit synchroniser sa propre horloge sur la séquence des bits successifs émis (figure 3.1). Le mode asynchrone est orienté pour une transmission par caractères, ceux-ci peuvent être émis à tout moment, la synchronisation à la réception se faisant pour chacun d'eux.



### 3.2 TRANSMISSION ASYNCHRONE

#### 3.2.1 Trame asynchrone

La longueur du caractère qui dépend du codage utilisé (ASCII, EBCDIC, Téléx ...) est généralement de 7 ou 8 bits, un certain nombre de bits sont associés à chaque caractère pour former une trame. Entre l'émission de deux trames la ligne est au repos pour une durée quelconque.

L'état de « repos » (*mark*) correspond au niveau logique haut (tension négative sur le câble).

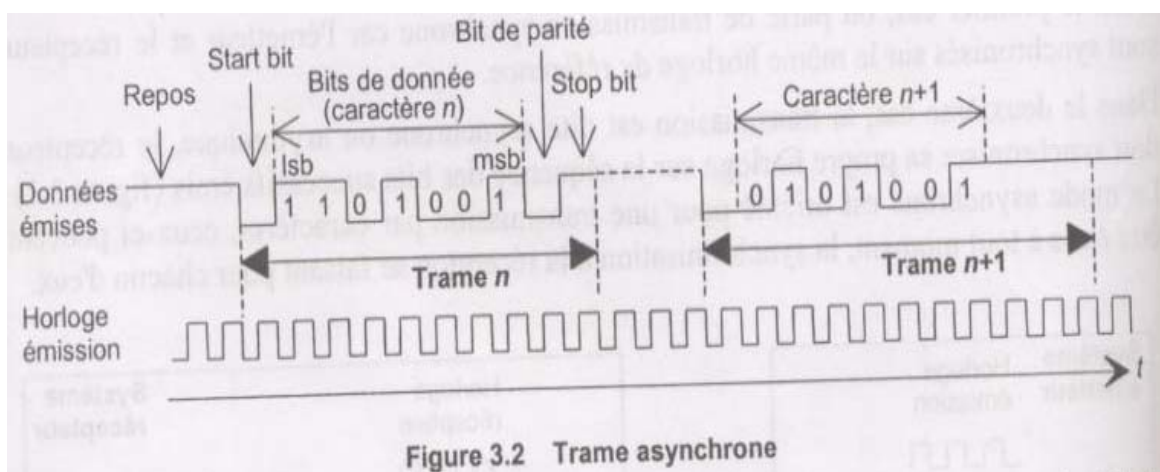
Un caractère émis sur la ligne est précédé d'un bit de départ (*start bit*) correspondant à l'état actif (*space*) et à un niveau logique bas ; cette transition haut-bas va indiquer au récepteur qu'un caractère est émis et va permettre sa synchronisation. La fin de l'émission d'un caractère est indiquée par un ou plusieurs bits d'arrêts (*stop bits*) correspondant au niveau logique haut soit à l'état « repos » ce qui permet la distinction avec les bits de départ du caractère suivant. Cette structure est parfois nommée « start-stop ».

Le bit de parité, facultatif, est généré à l'émission et testé à la réception. Deux types de parité existent :

- parité paire (*even*) : la parité est dite paire si le nombre de bits (bits de donnée et bit de parité compris) au niveau logique 1 est pair, le bit de parité est donc positionné dans l'émetteur en conséquence (cas de la figure 3.2).

- parité impaire (*odd*) : la parité est dite impaire pour un nombre impaire de bits à 1.

Le contrôle à la réception consiste à calculer la parité sur le caractère reçu et à comparer à la valeur du bit transmis par l'émetteur. Il faut donc que le choix de la parité soit le même à l'émission et à la réception.



La durée entre chaque bit étant constante et la synchronisation se faisant sur le bit de départ (voir paragraphe 4), le déphasage entre l'horloge de réception et les instants correspondant aux changements de bits est d'autant plus grand que ces derniers sont éloignés du bit de départ et que la fréquence de l'horloge de réception est éloignée de celle de l'horloge d'émission. Ceci limite d'une part, le nombre de bits par trame et d'autre part, les vitesses de transmission.

Vitesse de transmission courantes (en bits/s) :

75 – 110 – 150 – 300 – 600 – 1 200 – 2 400 – 4 800 – 9 600 – 12 200 – 28 800 – 56 600.



Il est à remarquer que ces débits ne correspondent pas aux vitesses effectives de transmission des informations dans la mesure où chaque caractère est encadré par plusieurs bits de contrôle (dans un codage ASCII sur 7 bits avec 1 bit de départ, 1 bit de parité et 1 bit de stop, 10 bits sont transmis pour 7 utiles).

### 3.2.2 Codage des caractères

Le principal code utilisé en transmission asynchrone est le code ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) défini par l'ANSI (*American National Standard Institution*).

Le code ASCII, défini au départ sur 7 bits, permet de coder 128 caractères, les 32 premiers sont des caractères de contrôle pour terminaux ou imprimantes (saut de ligne, tabulation ...) ou utilisés pour une gestion de flux logicielles (voir paragraphe 3.3.1), les 96 suivants sont des caractères alphanumériques (voir tableaux 3.1 et 3.2).

Le code ASCII étendu à 8 bits est le plus utilisé, il donne accès à un jeu supplémentaire de caractères graphiques ou alphanumériques spécifiques (italiques, accentués...).

Tableau 3.1 Codes ASCII - caractères alphanumériques

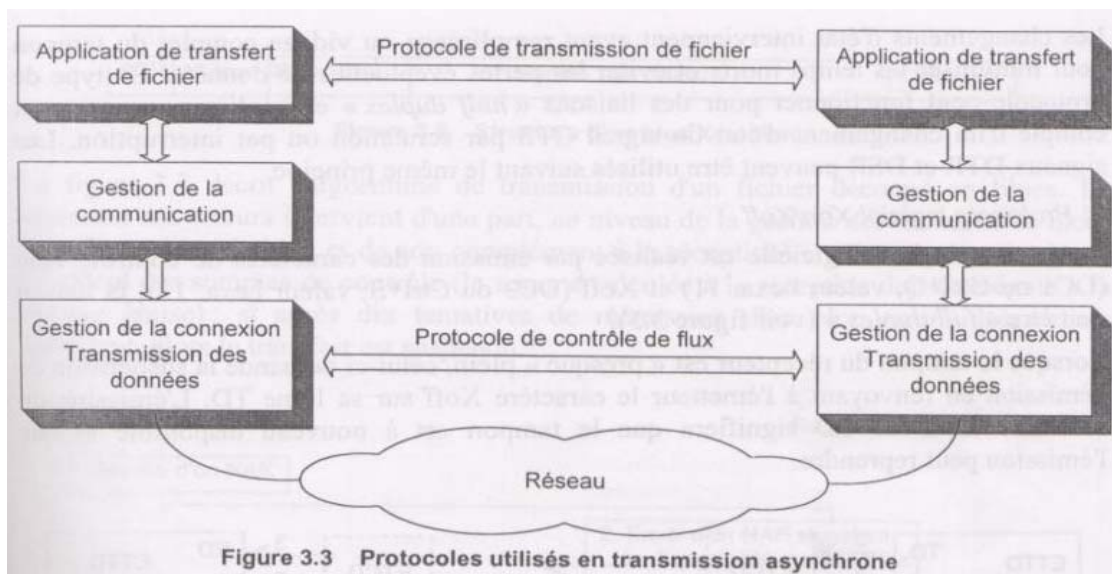
Car.	Hex.	Déc.	Car.	Hex.	Déc.	Car.	Hex.	Déc.	Car.	Hex.	Déc.
SP	20	32	8	38	56	P	50	80	h	68	104
!	21	33	9	39	57	Q	51	81	i	69	105
"	22	34	:	3A	58	R	52	82	j	6A	106
#	23	35	;	3B	59	S	53	83	k	6B	107
\$	24	36	<	3C	60	T	54	84	l	6C	108
%	25	37	=	3D	61	U	55	85	m	6D	109
&	26	38	>	3E	62	V	56	86	n	6E	110
'	27	39	?	3F	63	W	57	87	o	6F	111
(	28	40	@	40	64	X	58	88	p	70	112
)	29	41	A	41	65	Y	59	89	q	71	113
*	2A	42	B	42	66	Z	5A	90	r	72	114
+	2B	43	C	43	67	[	5B	91	s	73	115
,	2C	44	D	44	68	\	5C	92	t	74	116
-	2D	45	E	45	69	]	5D	93	u	75	117
.	2E	46	F	46	70	^	5E	94	v	76	118
/	2F	47	G	47	71	_	5F	95	w	77	119
0	30	48	H	48	72	`	60	96	x	78	120
1	31	49	I	49	73	a	61	97	y	79	121
2	32	50	J	4A	74	b	62	98	z	7A	122
3	33	51	K	4B	75	c	63	99	{	7B	123
4	34	52	L	4C	76	d	64	100		7C	124
5	35	53	M	4D	77	e	65	101	}	7D	125
6	36	54	N	4E	78	f	66	102	~	7E	126
7	37	55	O	4F	79	g	67	103	DEL	7F	127

Tableau 3.2 Codes ASCII - caractères de contrôle

Code	Valeur hexa.	Valeur déc.	Signification
NUL	0	0	Caractère nul
SOH	1	1	<i>Start Of Heading</i> , début d'en-tête
STX	2	2	<i>Start Of Texte</i> , début de texte
ETX	3	3	<i>End Of Texte</i> , fin de texte
EOT	4	4	<i>End Of Transmission</i> , fin de transmission
ENQ	5	5	<i>Enquiry</i> , demande de réponse
ACK	6	6	<i>ACKnowledge</i> , accusé de réception
BEL	7	7	<i>BELL</i> , sonnerie
BS	8	8	<i>BackSpace</i> , recule d'un caractère
HT	9	9	<i>Horizontal Tabulation</i> , tabulation horizontale
LF	A	10	<i>Line Feed</i> , saut de ligne
VT	B	11	<i>Vertical Tabulation</i> , tabulation verticale
FF	C	12	<i>Form Feed</i> , saut de page
CR	D	13	<i>Carriage Return</i> , retour de chariot (retour en début de ligne)
SO	E	14	<i>Shift Out</i> , sort du jeu de caractères standard
SI	F	15	<i>Shift In</i> , retour au jeu de caractères standard
DLE	10	16	<i>Data Link Escape</i> , transfert des données en mode transparent
DC1 (Xon)	11	17	<i>Device Control 1</i> , caractère de commande
DC2	12	18	<i>Device Control 2</i>
DC3 (Xoff)	13	19	<i>Device Control 3</i>
DC4	14	20	<i>Device Control 4</i>
NAK	15	21	<i>Negative Acknowledge</i> , accusé de réception négatif
SYN	16	22	<i>Synchronisation Idle</i> , caractère de synchronisation
ETB	17	23	<i>End of Transmission Block</i> , fin d'un bloc de données
CAN	18	24	<i>CANcel</i> , annulation de la donnée précédente
EM	19	25	<i>End of Medium</i> , fin du support physique
SUB	1A	26	<i>SUBstitute</i> , remplacement
ESC	1B	27	<i>ESCape</i> , annonce une séquence de contrôle (ESC A...)
FS	1C	28	<i>File Separator</i> , séparateur de fichiers
GS	1D	29	<i>Group Separator</i> , séparateur de groupe
RS	1E	30	<i>Record Separator</i> , séparateur d'enregistrement
US	1F	31	<i>United Separator</i> , séparateur d'unité

### 3.3 PROTOCOLES ASYNCHRONES

Dans les transmissions asynchrones, les protocoles utilisés pour le transfert de fichiers se situent à 2 niveaux différents. Tout d'abord, les protocoles de contrôle de flux sur la ligne de transmission sont utilisés pour le transfert des octets au niveau de la gestion de la connexion (figure 3.3). D'autre part, des protocoles pour la gestion et la transmission des fichiers sont utilisés au niveau des applications de transfert de fichier.



#### 3.3.1 Protocoles de contrôle de flux

Dans une liaison série asynchrone, lorsque les données reçues par le récepteur ne peuvent être exploitées aussi rapidement qu'elles sont émises, une procédure spécifiques signifiant à l'émetteur de suspendre provisoirement son émission est nécessaire.

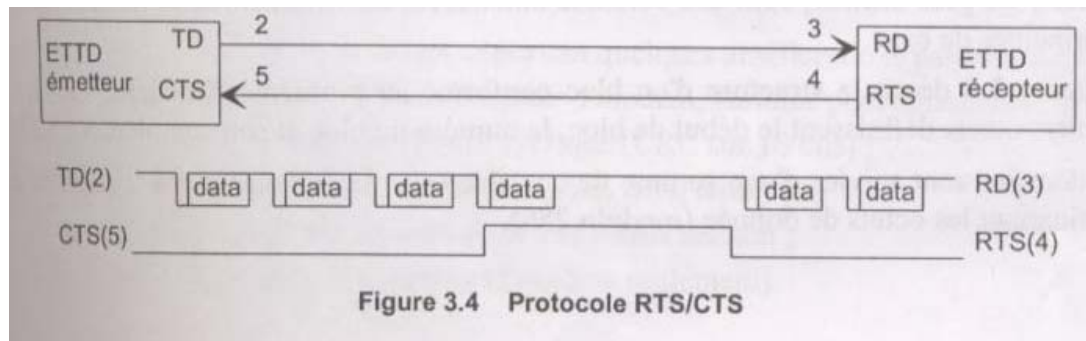
Le récepteur dispose alors d'une mémoire tampon permettant le stockage au rythme de l'émission avant traitement.

Lorsque cette mémoire est saturée, le récepteur doit demander à l'émetteur de suspendre l'émission. Il devra également demander la reprise d'émission lorsque la mémoire tampon sera libérée, après traitement des données mémorisées.

Cette gestion du flux de données entre l'émetteur et le récepteur est définie par des protocoles. Certains dits matériels utilisent les signaux de contrôle des circuits V24 dans le cadre d'une liaison hors norme entre deux ETTD, d'autres dits logiciels emploient des caractères ASCII.

#### a) Protocole matériel RTS/CTS (DTR/DSR)

Le contrôle de flux matériel est réalisé entre les deux ETTD par les signaux RTS et CTS (figure 3.4). Lorsque le tampon du récepteur est « presque » plein, il désactive le signal RTS (ouverture du circuit correspondant). La reprise de l'émission sera signalée par un nouveau changement d'état du signal RTS, lorsque le tampon sera « presque » vide.

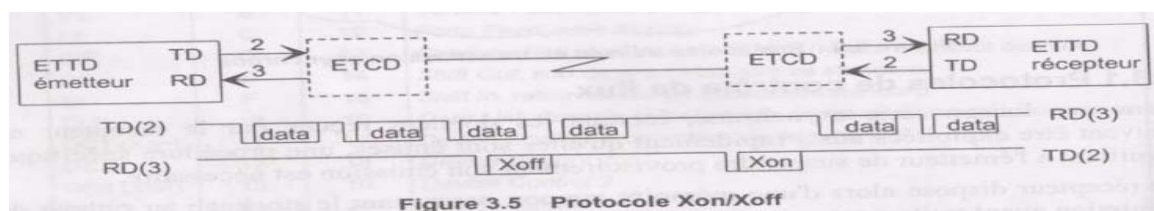


Les changements d'état interviennent avant remplissage ou vidage complet du tampon pour minimiser les temps morts et éviter les pertes éventuelles de données. Ce type de protocole peut fonctionner pour des liaisons « *half duplex* » et implique une prise en compte d'un changement d'état du signal CTS par scrutation ou par interruption. Les signaux DTR et DST peuvent être utilisés suivant le même principe.

#### b) Protocole logiciel Xon/Xoff

La gestion de flux logicielle est réalisée par émission des caractères de contrôle Xon (DC1 ou Ctrl+Q, valeur hexa. 11) et Xoff (DC3 ou Ctrl+S, valeur hexa. 13), la liaison doit être « *full duplex* » (voir figure 3.5).

Lorsque le tampon du récepteur est « presque » plein, celui-ci demande la suspension de l'émission en revoyant à l'émetteur le caractère Xoff sur sa ligne TD. L'émission du caractère Xon sur TD signifiera que le tampon est à nouveau disponible et que l'émission peut reprendre.



Ce protocole suppose une analyse par l'émetteur des caractères en retour. De ce fait, les suspensions et reprises d'émission sont moins rapides que dans le protocole RTS/CTS.

### 3.3.2 Protocoles de transfert de fichiers

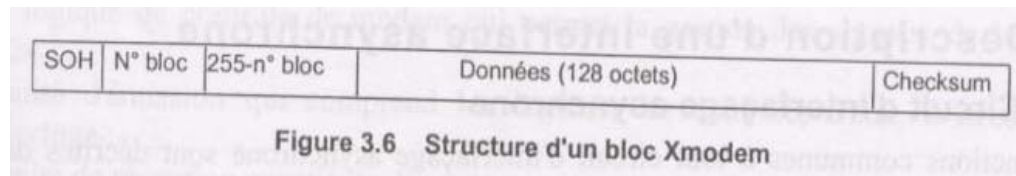
D'autres protocoles logiciels utilisant les caractères de contrôle sont employés pour la transmission par modem de fichiers ASCII ou binaires entre deux systèmes. Ces protocoles réalisent le découpage du fichier en blocs, leur transmission, le test de l'intégrité des blocs à la réception avec une possibilité de retransmission en cas d'erreur, et la reconstitution du fichier (les caractères de chaque bloc peuvent être transmis suivant un protocole de niveau inférieur de type DTR/DSR ou Xon/Xoff).

Les plus courants sont les protocoles Kermit, Xmodem, Ymodem et Zmodem ; les deux derniers, les plus utilisés, sont des versions améliorées de Xmodem dont ils reprennent les principes de base.

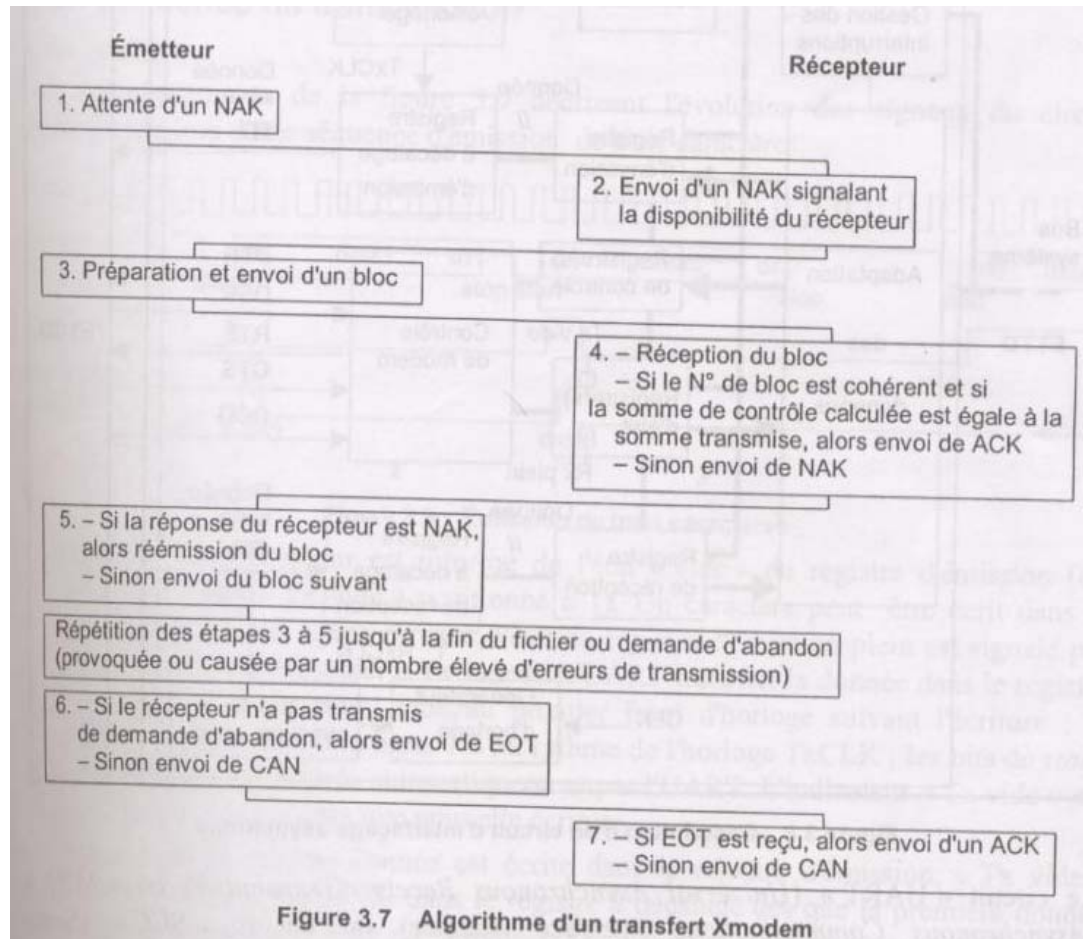
La figure 3.6 décrit la structure d'un bloc conforme au protocole Xmodem. Les trois premiers octets définissent le début de bloc, le numéro du bloc et son complément à 255.



Les données sont suivies d'une somme de contrôle (*checksum*) sur un octet, calculée en additionnant les octets de donnée (modulo 256).



La figure 3.7 décrit l'algorithme de transmission d'un fichier découpé en blocs. La détection des erreurs intervient d'une part, au niveau de la gestion des numéros de blocs (test du numéro de bloc et de son complément à la réception) et d'autre part, au niveau du calcul des sommes de contrôle (la somme calculée à la réception doit être égale à la somme émise) ; si après dix tentatives de réémission d'un bloc erroné les erreurs persistent, alors le transfert est suspendu.



Les protocoles Ymodem et Zmodem apportent quelques améliorations parmi lesquelles :

- taille des blocs étendue (1024 octets pour Ymodem, variable pour Zmodem) ;
- test d'erreur par code de redondance cyclique (CRC sur 16 bits) ;
- transfert des caractéristiques du fichier (nom, date, taille) ;
- transmission de plusieurs fichiers dans une même session ;
- reprise du transfert sur interruption (Zmodem seulement).

### 3.4 DESCRIPTION D'UNE INTERFACE ASYNCHRONE

#### 3.4.1 Circuit d'interfacage asynchrone

Les fonctions communes à tout circuit d'interfacage asynchrone sont décrites dans la figure 3.8.

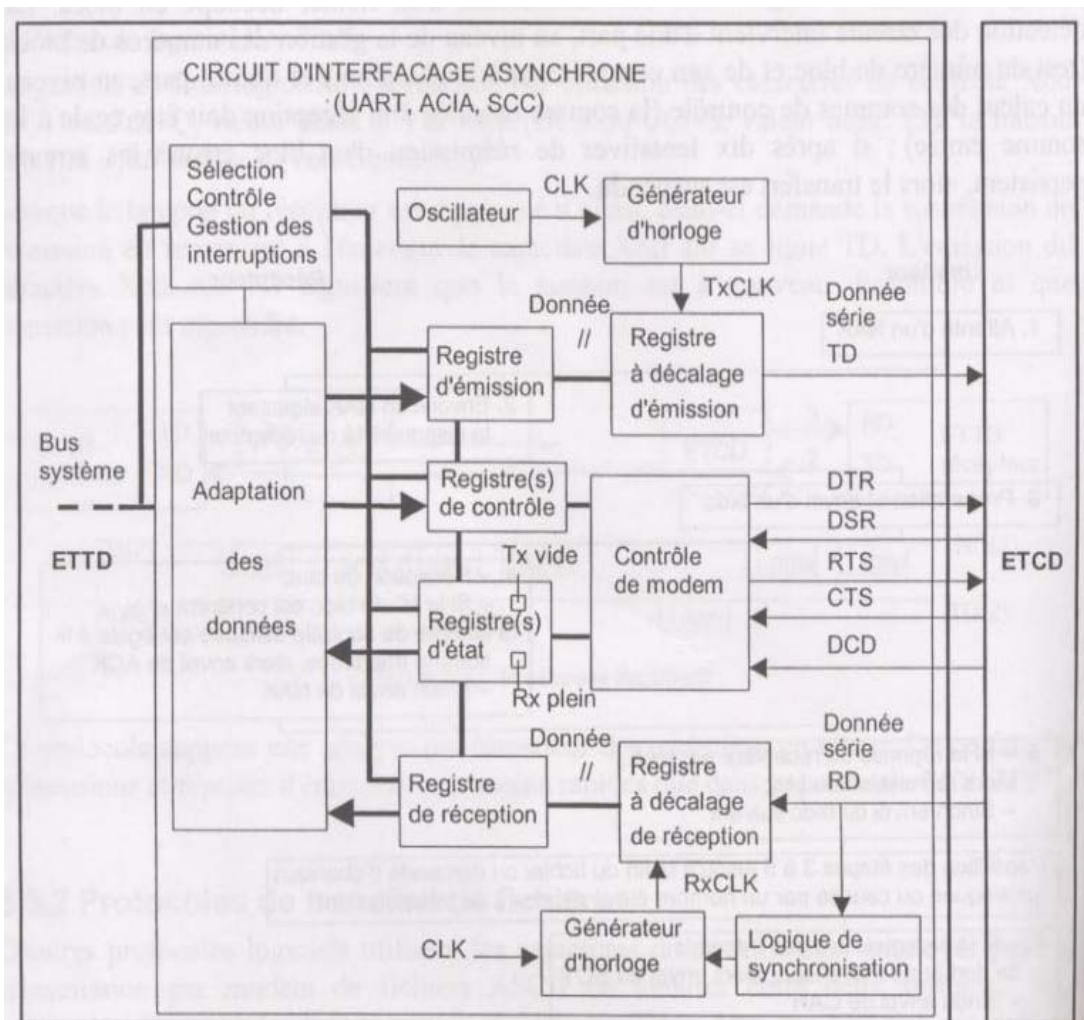


Figure 3.8 Description d'un circuit d'interfaçage asynchrone

Le circuit « UART » (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) ou « ACIA » (*Asynchronous Communications Interface Adapter*) ou encore « SCC » (*Serial Communication Controller*) selon le constructeur, est situé à l'extrémité de l'ETTD et en liaison avec l'ETCD par l'intermédiaire de circuits d'adaptation (non représentés sur la figure 3.8) permettant d'élaborer des signaux en conformité avec les normes électriques de la jonction (V28, V11...).

On peut décomposer le circuit en quatre unités fonctionnelles :

- la logique de contrôle et d'adaptation du bus, en liaison avec l'unité centrale de traitement (processeur) par l'intermédiaire du bus système et qui permet la sélection du circuit et le transfert des données entre ses registres internes et le processeur ;
- la logique de contrôle de modem qui permet la gestion des signaux de la liaison V24 ;
- l'unité d'émission qui comprend les registres de contrôle, d'état, à décalage et l'horloge ;
- l'unité de réception constituée des mêmes registres pour la partie réception.

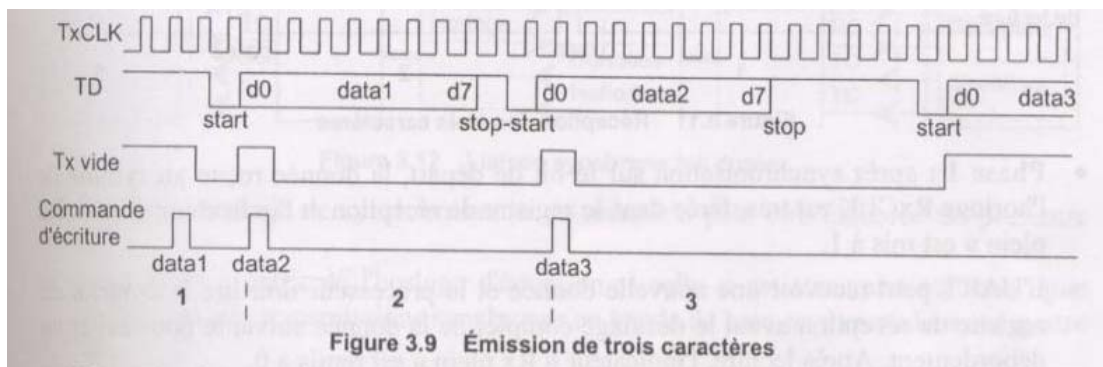
L'émission et la réception sont synchronisées par le signal d'horloge de référence (CLK), élaboré à partir d'un oscillateur à quartz généralement intégré au circuit.

Une logique de gestion des interruptions est également présente en liaison avec les indicateurs d'état des unités de réception, d'émission et de contrôle de modem.

### 3.4.2 Séquence de transmission

#### a) Emission

Les chronogrammes de la figure 3.9 décrivent l'évolution des signaux du circuit d'interfaçage lors d'une séquence d'émission de trois caractères.



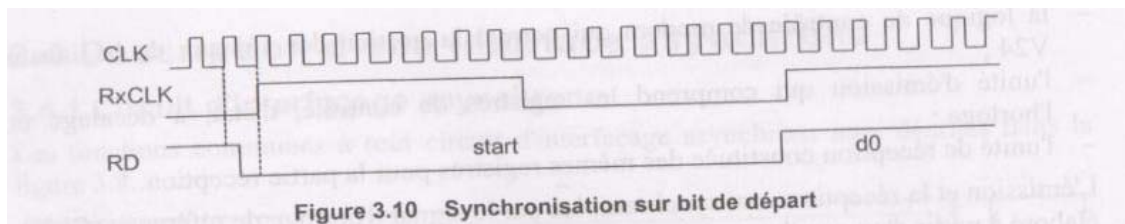
- **Phase 1** : le processeur est informé de l'état « vide » du registre d'émission (bit indicateur d'état « Tx vide » positionné à 1). Un caractère peut être écrit dans le registre d'émission. Après écriture, l'état du registre d'émission plein est signalé par la remise à 0 de l'indicateur « Tx vide ». L'UART transfère la donnée dans le registre à décalage, si celui-ci est vide, au premier front d'horloge suivant l'écriture ; la donnée est envoyée sur la ligne TD au rythme de l'horloge TxCLK ; les bits de *start*, parité et stop sont insérés automatiquement par l'UART. L'indicateur « Tx vide » est positionné à 1, autorisant une nouvelle écriture.

- **Phase 2** : la deuxième donnée est écrite dans le registre d'émission, « Tx vide » passe à 0, elle est transférée dans le registre à décalage dès que la première donnée est intégralement transmise sur la ligne, « Tx vide » est alors repositionné à 1.

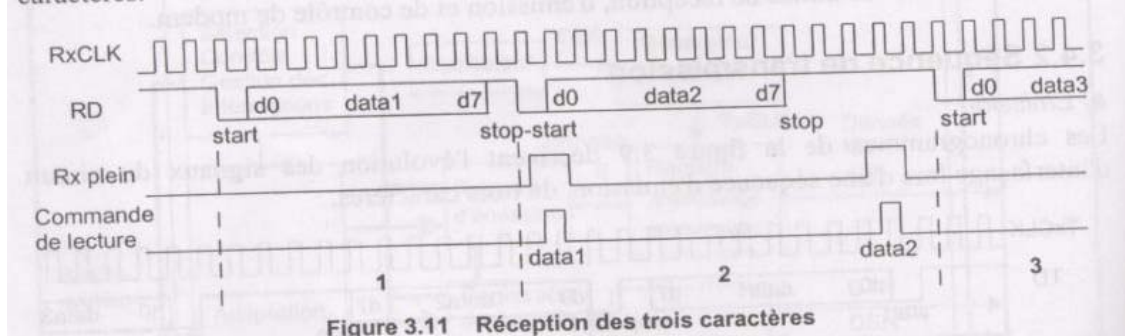
- **Phase 3** : la troisième donnée est écrite puis transférée suivant le même principe.

### a) Réception

A la réception, l'échantillonnage de la ligne RD est effectué avec une fréquence supérieure à la fréquence de transmission (généralement dans un rapport 16) ; dès la détection d'une transition haut-bas correspondant au bit de départ, l'horloge de réception RxCLK est synchronisée. Dans le cas d'un rapport 16 entre CLK et RxCLK, le bit de *start* sera pris en compte dans le registre à décalage après huit périodes de l'horloge CLK si la ligne RD est toujours à l'état bas (voir figure 3.10).



La figure 3.11 décrit l'évolution des signaux lors d'une séquence de réception de trois caractères.



- **Phase 1** : après synchronisation sur le bit de départ, la donnée reçue au rythme de l'horloge RxCLK est transférée dans le registre de réception et l'indicateur d'état « Rx plein » est mis à 1.

L'UART peut recevoir une nouvelle donnée et le processeur doit lire le contenu du registre de réception avant le décalage complet de la donnée suivante pour éviter un débordement. Après lecture, l'indicateur « Rx plein » est remis à 0.

- **Phase 2** : la deuxième donnée est présentée sans délai sur la ligne RD, une nouvelle synchronisation est réalisée, suivie d'une nouvelle lecture par le processeur alerté par le passage à 1 de l'indicateur « Rx plein ».

- **Phase 3** : réception et lecture de la troisième donnée suivant le même principe.

A chaque réception de caractère, les autres indicateurs du registre d'état sont positionnés :



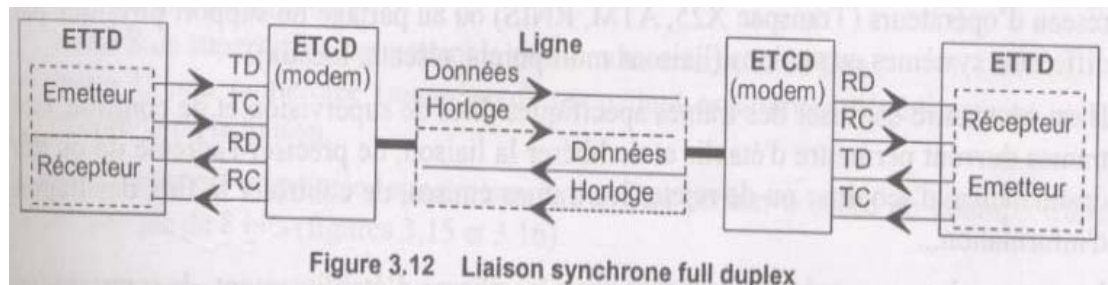
- erreur de parité si le calcul sur le caractère reçu donne une valeur différente de celle du bit transmis ;
- erreur de format si le bit de *start* repasse au niveau haut avant la fin de la synchronisation ou si le bit de stop n'est pas trouvé ;
- débordement si le bit de *start* est décelé et si le registre à décalage et le registre de réception sont pleins.

Les transferts de données entre le processeur et l'UART s'effectuant beaucoup plus rapidement que les transferts en série sur la ligne (par exemple 20 ns pour un transfert d'octet avec un processeur fonctionnant à 100 Mhz contre 1 ms pour transférer un caractère à 9 600 bit/s sur la ligne), l'écriture ou la lecture des registres d'émission ou de réception est dans la plupart des cas effectuée par interruptions plutôt que par scrutation des indicateurs d'état « Tx vide » ou « Rx plein ». Les interruptions sont déclenchées suivant l'état vide ou plein des registres, en liaison avec les indicateurs d'état.

De plus, pour optimiser les transferts, la capacité des registres d'émission et de réception est souvent supérieure à un caractère, on parle alors de tampon FIFO (*First In First Out*) d'émission ou de réception. Pour un tampon FIFO d'émission de quatre caractères, le processeur pourra effectuer quatre écritures successives par interruption et passer à une autre tâche pendant la sérialisation des données (la première donnée écrite étant la première transférée sur la ligne).

### 3.5 Transmission synchrone

Lors d'une transmission synchrone, le signal d'horloge de l'émetteur est transmis sur la ligne au récepteur ou reconstitué par ce dernier, ce qui évite une nouvelle synchronisation en réception et garantit des instants d'échantillonnage en phase quelle que soit la position relative du bit dans la séquence (figure 3.12).



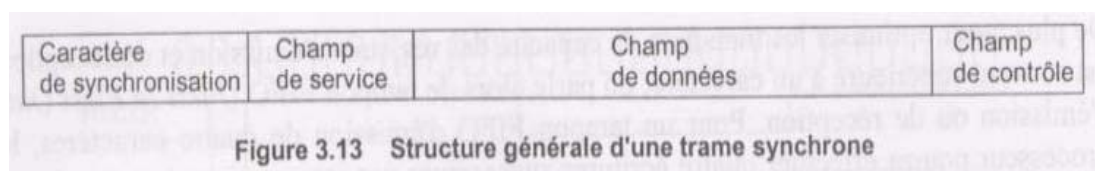
En pratique, l'horloge de synchronisation en réception peut être élaboré de plusieurs façons :

- directement à partir de l'horloge d'émission si celle-ci est transmise sur une ligne séparée, cas des transmissions synchrones en bande de base ou par un modem sur quatre fils ;
- par reconstitution dans le modem de l'horloge d'émission à partir des instants de transition du signal de données et suivant le type de modulation ;
- en utilisant des caractères de synchronisation situés au début des trames transmises et présentant des successions de 0 et de 1, cas des transmissions synchrones en bande de base sur réseaux locaux avec une ligne de données.

Dans la mesure où la fréquence de l'horloge d'émission est rigoureusement égale à celle de l'horloge de réception, les débits peuvent être plus importants. De même la longueur des trames n'est plus limitée à un caractère comme pour la transmission asynchrone mais est quelconque, ce qui réduit l'importance relative des bits servant au contrôle par rapport aux bits utiles.

En transmission synchrone, une trame est donc composée d'un ensemble de bits pouvant être regroupés par caractères ou octets.

Le début d'une trame est annoncé par un ou plusieurs caractères de synchronisation codés suivant le protocole utilisé. Suivent ensuite un champ de service pouvant contenir l'adresse de l'émetteur et du récepteur ou d'autres informations sur le type de trame ou la structure du message (début de fichier, début ou longueur de bloc...), un champ de données correspondant au message, un champ de contrôle permettant la détection des erreurs de transmission suivi éventuellement d'un ou plusieurs caractères de fin de trame (voir figure 3.13).



Contrairement à la transmission asynchrone, la synchronisation au niveau bit et la synchronisation au niveau trame sont indépendantes et correspondent à deux niveaux distincts du modèle OSI (modèle d'architecture des systèmes interconnectés) : respectivement le niveau physique et le niveau de données (voir chapitre 5).

### 3.6 PROTOCOLES ET PROCEDURES SYNCHRONES

La transmission synchrone peut être associée à des liaisons point à point d'accès à un réseau d'opérateurs (Tanspac X25, ATM, RNIS) ou au partage du support physique par différents systèmes ou stations (liaisons multipoints, réseaux locaux).

Il est nécessaire d'utiliser des trames spécifiques dites de supervision et de contrôle. Ces trames devront permettre d'établir et libérer la liaison, de préciser l'adresse du ou des destinataires, d'acquitter ou de rejeter les trames émises, de contrôler le flux des trames d'informations...

Les protocoles ou procédures utilisées pour les phases d'établissement, de transmission et de libération sont liées au type de réseau et de données échangées. La procédure HDLC est utilisée notamment dans le réseau Tanspac X25 et présente des mécanismes standards d'échange que l'on retrouve dans les réseaux locaux (voir couche LLC, chapitre 6). La recommandation SDH (SONET aux Etats-Unis) définit une norme commune de signalisation, de structure de trames et de multiplexage pour les équipements d'extrémité des canaux numériques (ATM, RNIS large bande...).

#### 3.6.1 Procédure HDLC

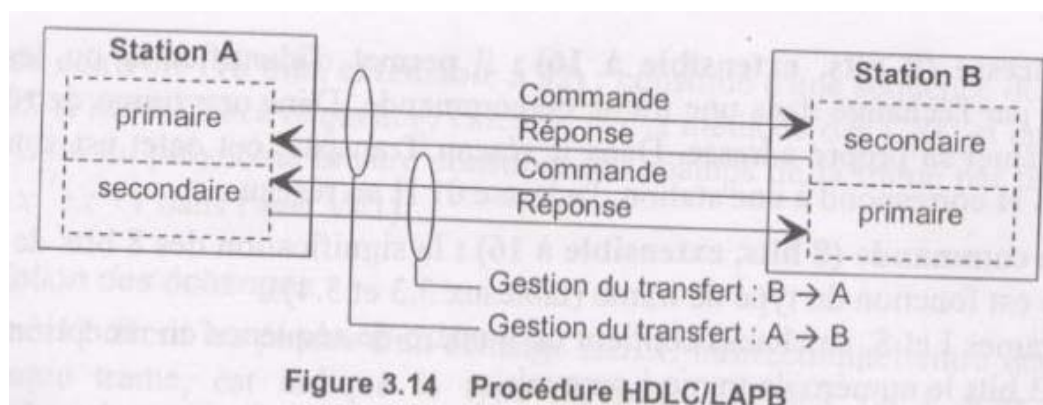
La procédure HDLC (*High level Data Link Control procedures*) normalisée par l'ISO et l'UIT-T est définie pour des transmissions synchrones en semi-duplex ou duplex intégral sur des liaisons point à point ou multipoints.

Toutes les informations transmises sont considérées comme des groupements binaires (procédures orientées bit) et donc indépendantes d'un codage ou d'un alphabet particulier.

##### a) Modes de liaison

Dans le mode de liaison non équilibré ou mode LAP (*Link Access Procedure*), une seule station, toujours la même, assure la gestion de la transmission et est susceptible d'émettre des trames de commande : c'est la station primaire. La station secondaire émet des réponses aux commandes de la station primaire.

Dans le mode équilibré ou mode LAPB (*Balanced Link Access Procedure*) utilisé notamment sur les réseaux X25, chaque station possède une fonction primaire et une fonction secondaire. Les trames de commande et d'information peuvent être échangées simultanément, ce qui permet une exploitation en duplex intégral (voir figure 3.14).

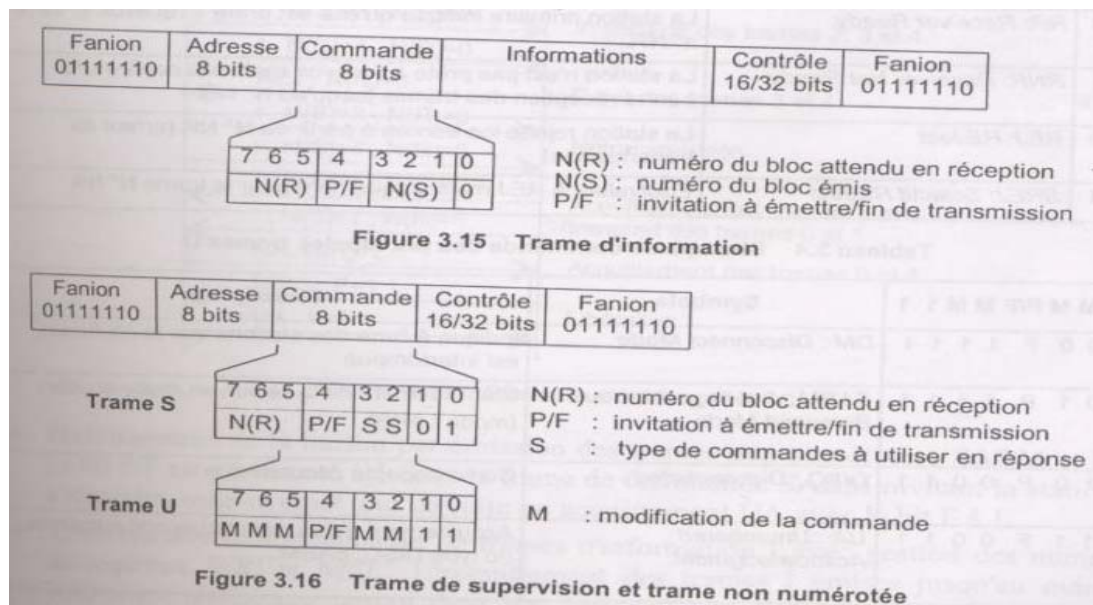


##### b) Structure des trames

Trois types de trames sont utilisées pour gérer la transmission ou échanger des informations :

- trame I d'information contenant essentiellement des données et des indications sur l'état de la transmission ;
- trame S de supervision permettant la gestion des erreurs et du flux ;
- trame U non numérotée (*unumbered*) permettant notamment l'établissement et la libération de la liaison.

Chaque trame est constituée, suivant son type, d'un certain nombre de champs d'une taille multiple de 8 bits (figure 3.15 et 3.16)



**Fanions (01111110) :** les fanions (*flag*) de tête et de queue annoncent l'ouverture et la fermeture d'une trame, un fanion de queue peut être fanion de tête de la trame suivante. L'état repos de la liaison est indiqué par une succession de « 1 » ou de fanions. Lorsqu'un caractère dans un champ quelconque comprend une suite de 6 bits à « 1 », un bit « 0 » est inséré après le cinquième bit à l'émission pour éviter une confusion avec un fanion, il sera éliminé à la réception.

**Champ adresse (8 bits, extensible à 16) :** il permet d'identifier la ou les stations concernées par l'échange dans une trame de commande. Dans une trame de réponse, la station transmet sa propre adresse. Dans le réseau Transpac, cet octet est sous-utilisé : l'adresse 03 H correspond à une station, l'adresse 01 H au réseau.

**Champ de commande (8 bits, extensible à 16) :** la signification des 8 bits de l'octet de commande est fonction du type de trame (tableaux 3.3 et 3.4).

Dans les trames I et S, ce champ contient un numéro de séquence en réception  $N(R)$  qui donne sur 3 bits le numéro de trame à recevoir.

Un autre numéro de séquence en émission  $N(S)$ , géré indépendamment du précédent, est contenu dans le champ commande d'une trame I, il indique le numéro de trame émise.

Le bit P/F est appelé bit d'invitation à émettre ( $P=Poll$ ) dans le cas d'une commande et bit de fin ( $F=Final$ ) dans le cas d'une réponse et permet de demander l'acquiescement immédiat d'une trame.

Les bits S permettant le codage de quatre types de trames de supervision ; les bits M permettent le codage de trente-deux types de trames non numérotées.

Tableau 3.3 Champs de commande des trames S

SS	Symbole	Description
00	RR: Receiver Ready	La station primaire indique qu'elle est prête à recevoir la trame n° NR
01	RNR: Receiver Not Ready	La station n'est pas prête à recevoir mais elle confirme la bonne réception des trames jusqu'au N° NR-1
10	REJ: REject	La station rejette les trames à partir du N° NR (erreur de transmission)
11	SREJ: Selectif REject	Équivalent à REJ mais uniquement pour la trame N° NR

Tableau 3.4 Champs de commande des principales trames U

MMM P/F MM 1 1	Symbole	Description
000 F 1111	DM : Disconnect Mode	Indique à l'une des stations que la connexion est interrompue
001 P 1111	SABM : Set Asynchronous Balanced Mode	Établissement de la liaison en mode équilibré (mode LAPB)
010 P 0011	DISC : Disconnected	Commande de déconnexion
011 F 0011	UA : Unnumbered Acknowledgment	Acquittement d'une commande non numérotée du type DISC, SABM...
101 F 0111	FRMR : Frame Reject	Rejet définitif d'une trame
101 P/F 0011	XID : eXchange IDentification	Échange d'identification des stations

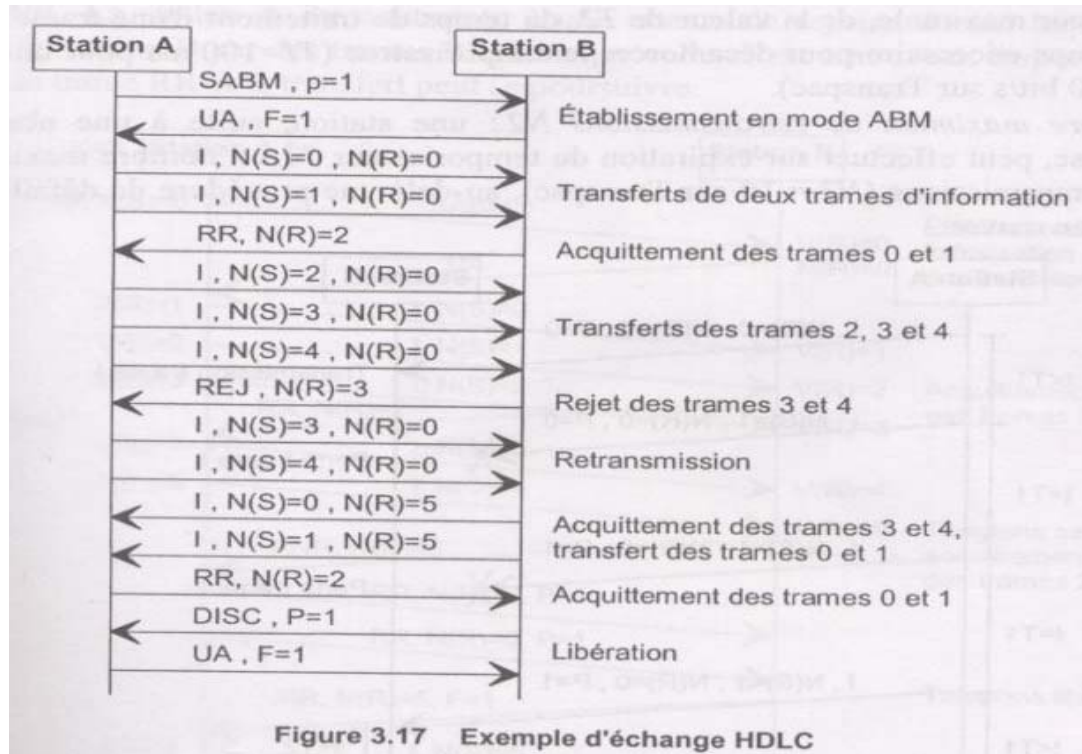


**Champ d'informations :** il est constitué d'une suite de bits formant un nombre entier d'octets (les valeurs utilisées par Transpac sont 256 ou 512 octets) et pouvant correspondre à tous types de codage.

**Champ de contrôle (16 bits, extensible à 32) :** constitué d'une séquence de contrôle de trame FCS (*Frame Check Sequence*) calculée par la méthode des CRC et égale au reste de la division du polynôme binaire constitué des champs de la trame par un polynôme fixé ( $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  dans l'avis V41).

### c) Description des échanges

La figure 3.17 décrit les phases d'un échange HDLC bidirectionnel entre deux stations. Pour chaque trame, est indiqué le type (SABM, UA, RR ou I pour une trame d'information) et la valeur des variables significatives ( $N(S)$ ,  $N(R)$  et P/F.



- **Etablissement** de la liaison par émission des trames non numérotées SABM et UA. Le bit P/F est positionné à 1 dans la trame de commande SABM invitant la station B à répondre, celle-ci émet tout de suite un acquittement UA avec le bit F à 1.

- **Transmission** bidirectionnelle de trames d'information I avec gestion des numéros de séquence  $N(R)$  et  $N(S)$ . L'acquittement des trames I émises jusqu'au numéro  $N(S) = x$  est réalisé par renvoi dans une trame RR ou I de  $N(R) = x+1$ ,  $x+1$  est le numéro de la trame attendue (exemple :  $N(R) = 4$  acquitte les trames  $N(S) < 4$ ). La trame REJ avec  $N(R) = x$  signifie le rejet des trames  $N(S) \geq x$ . La gestion des numéros  $N(S)$  et  $N(R)$  est symétrique pour les deux stations (en mode LAPB) ; le transfert des trames I peut donc être réalisé en duplex intégral.

- **Libération** de la liaison par émission des trames non numérotées DISC et UA.

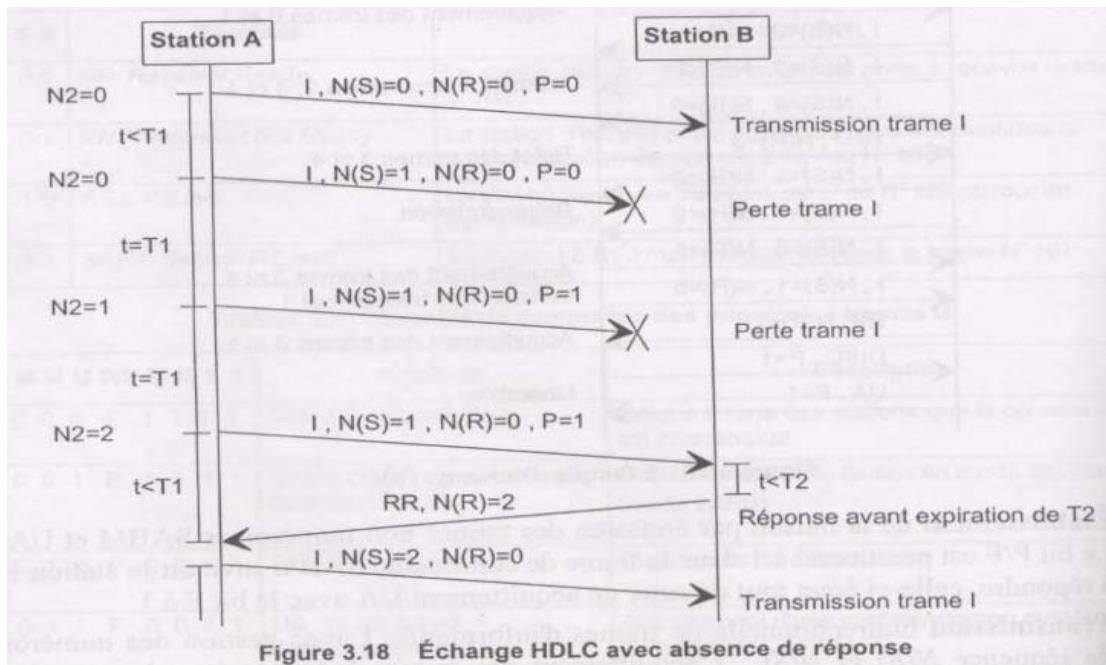
La figure 3.18 décrit un échange l'une des deux stations n'émet pas de réponse suite à une commande (perte d'une trame I) ; dans ce cas, plusieurs compteurs et temporisateurs permettent le contrôle de l'échange.

- **Taille maximale de la trame N1 :** nombre maximum de bits d'une trame, fanions exclus ( $N1=2104$  pour le réseau Transpac).

- **Délai maximal T2 :** le récepteur d'une trame doit fournir une réponse avant dépassement du délai T2.

- **Temporisateur T1 :** à l'émission d'une trame, un temporisateur est armé avec une valeur T1 ; si l'acquittement n'intervient pas avant l'expiration de T1, une retransmission est effectuée. T1 dépend de la durée d'émission d'une trame de longueur maximale, de la valeur de T2, du temps de traitement d'une trame reçue et du temps nécessaire pour désamorcer le temporisateur ( $T1=100$  ms pour un débit de 48 000 bit/s sur Transpac).

- **Nombre maximum de retransmissions N2 :** une station, suite à une absence de réponse, peut effectuer sur expiration du temporisateur T1 un nombre maximum N2 de retransmission ( $N2 = 10$  sur Transpac), au-delà une procédure de défaillance est mise en œuvre.



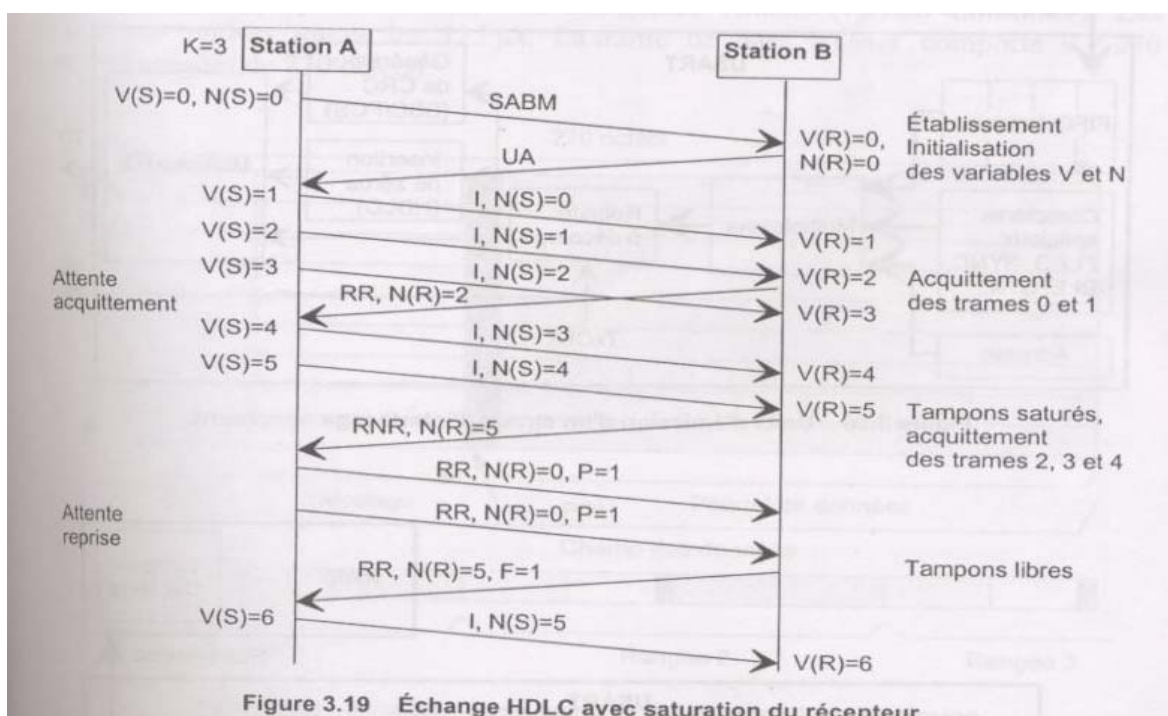
La figure 3.19 décrit un échange lorsque les tampons de la station réceptrice sont temporairement saturés et représente l'évolution des variables d'état internes.

- *Variable d'état en émission  $V(S)$*  : variable interne qui indique le numéro de séquence de la prochaine trame I à émettre.  $V(S)$  peut prendre les valeurs 0 à 7 et est incrémentée de 1 à chaque émission d'une trame I.  $V(S)$  ne peut dépasser le numéro  $N(R)$  reçu d'une valeur supérieure au nombre de trames en anticipation  $K$  ( $V(S) \leq N(R) + K$ ).

- *Paramètre d'anticipation  $K$*  : ce paramètre dont la valeur est fixée par les utilisateurs ( $K \leq 7$ ) indique le nombre pouvant être émises sans acquittement.

- *Variable d'état en réception  $V(R)$*  : variable interne qui indique le numéro de séquence de la prochaine trame I attendue en réception.  $V(R)$  peut prendre les valeurs 0 à 7 et est incrémentée de 1 à chaque réception sans erreur d'une trame I.

Après établissement et initialisation des variables, la station A envoie trois trames. La variable  $V(S)$  est incrémentée de 0 à 3 et devient égale à  $N(R) + K$  (avec  $N(R) = 0$  et  $K = 3$ ) ; la station A ne peut alors plus anticiper et doit attendre un acquittement de la station B. La trame RR avec  $N(R) = 2$  permet ensuite une anticipation jusqu'à  $V(S) = 5$ . La station B acquitte les trames 3 et 4 et indique une saturation de ses tampons par une trame RNR. La station A est contrainte à une attente de reprise durant laquelle elle interroge la station B par des trames RR. Lorsque celle-ci est à nouveau disponible, elle envoie une trame RR et le transfert peut se produire.



Les séquences d'établissement, de transmission, de reprise et de libération sont complètement décrites par des diagrammes d'état de la procédure HDLC.

### 3.6.2 Description d'une interface synchrone

L'organisation fonctionnelle des circuits d'interfaçage synchrone est comparable à celle des circuits asynchrones. Les différences essentielles se situent au niveau de la gestion de l'horloge de réception qui est fournie par l'extérieur en transmission synchrone et des logiques associées à l'émission et à la réception qui permettent de gérer directement les caractères correspondant aux différents protocoles (FLAG, SYN, BCC, FCS...).

Les figures 3.20 et 3.21 donnent une description fonctionnelle des unités d'émission et de réception présentes dans les circuits de type USART (*Universal Synchronies Asynchronous Receiver Transmitter*) ou SCC (*Serial Communications Controller*).

Les transferts de données entre l'USART et le système sont généralement effectués par interruption ou par transferts DMA (*Direct Memory Access*). Dans ce dernier cas, les échanges sont directement réalisés entre une zone mémoire ayant une structure de tampon circulaire et le tampon FIFO de l'USART.

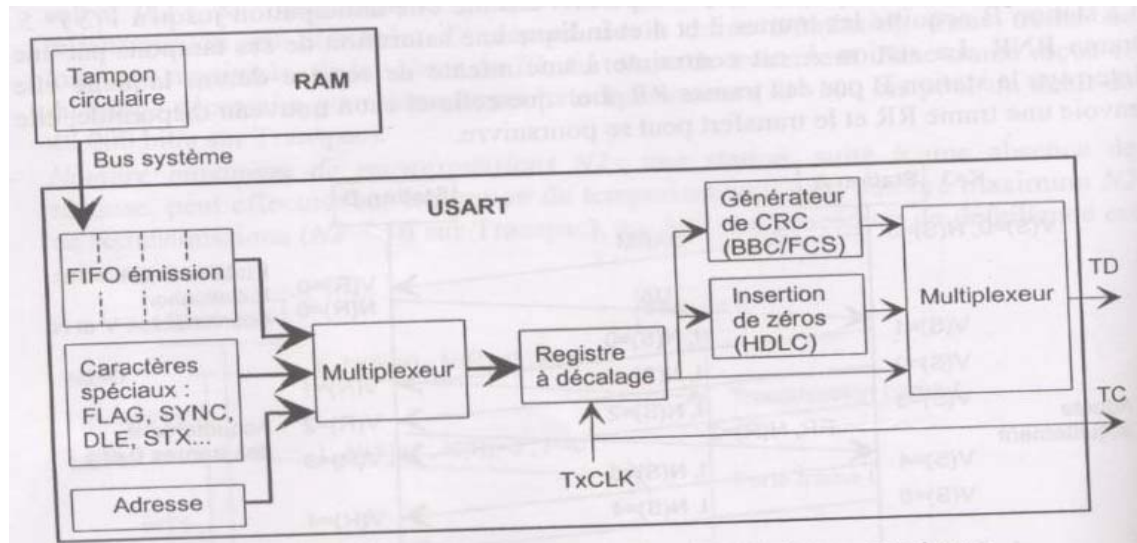


Figure 3.20 Unité d'émission d'un circuit d'interfaçage synchrone

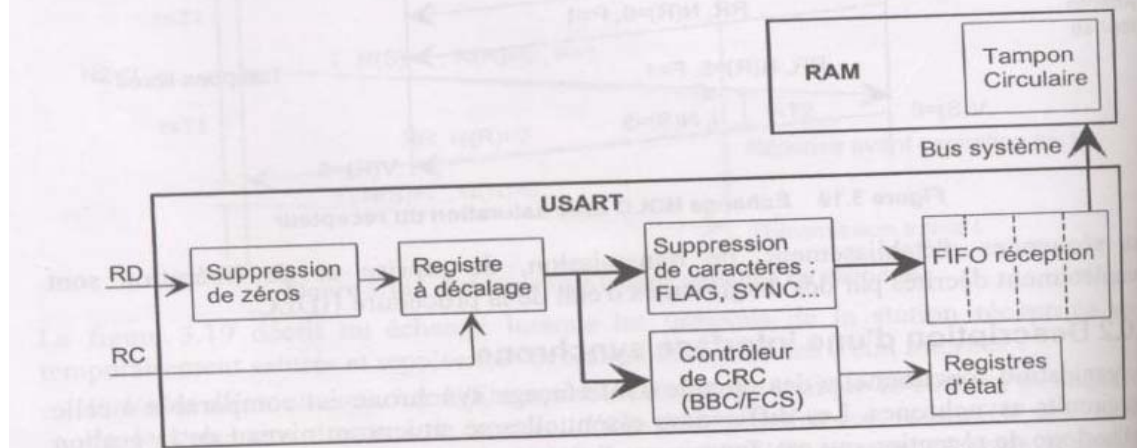


Figure 3.21 Unité de réception d'un circuit d'interfaçage synchrone

### 3.6.3 Protocole SDH (SONET)

Le protocole SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) normalisé par l'UIT-T et son équivalent américain SONET (*Synchronous Optical Network*) sont utilisés dans les réseaux hauts débits comme ATM pour les transmissions point à point. Ils permettent des débits hiérarchisés de quelques centaines de Mbit/s à plusieurs Gbit/s (tableau 3.5).



Tableau 3.5 Débits hiérarchisés du protocole SDH

Trame SDH	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Débit (Mbit/s)	155,52	622,08	2488,32	9953,28

Les données sont transportées dans des trames synchrones (*Synchronous Transport Module*) et « empaquetées » dans des conteneurs virtuels (*Virtual Container*). Les trames sont émises toutes les 125  $\mu$ s. La trame de base STM-1 comporte  $9 \times 270$  octets (9 rangées de 270 octets).

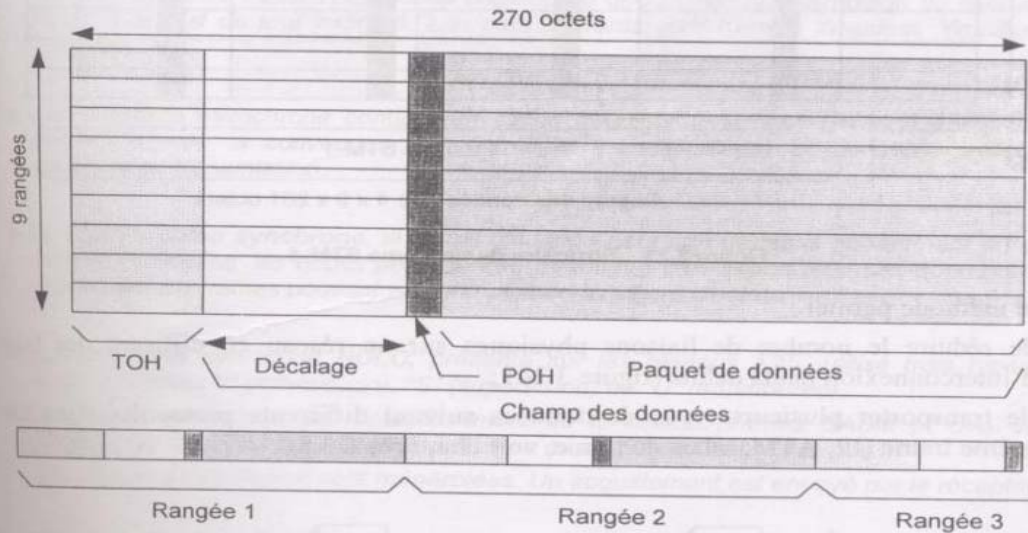


Figure 3.22 Structure d'une trame STM-1 et ordre de transmission

Les 9 premiers octets de chaque rangée constituent l'en-tête de transport, les autres octets contiennent les données à transmettre (figure 3.22). Chaque rangée de donnée est précédée d'un octet d'en-tête).

**TOH (*Transport OverHead*)** : en tête de transport sur 9 octets (par rangée), contient des fanions, des informations d'erreur de trames, et la valeur du décalage du paquet de données.

**POH (*Path OverHead*)** : en tête de routage sur 1 octet, contient un identificateur de chemin (adressage au format E.164) contrôlé par une information d'erreur.

**Champ des données** : plage de  $9 \times 261$  octets dans laquelle sont placés les paquets de données (*Synchronous Payload Envelope*). Pour pouvoir adapter en temps et en longueur le format des paquets de données aux réseaux et aux protocoles de niveau supérieurs, un décalage dont la valeur se trouve dans l'en-tête de transport TOH est introduit.

Une trame STM-4 peut être construite par « concaténation » de 4 trames STM-1 comme le montre la figure 3.23.

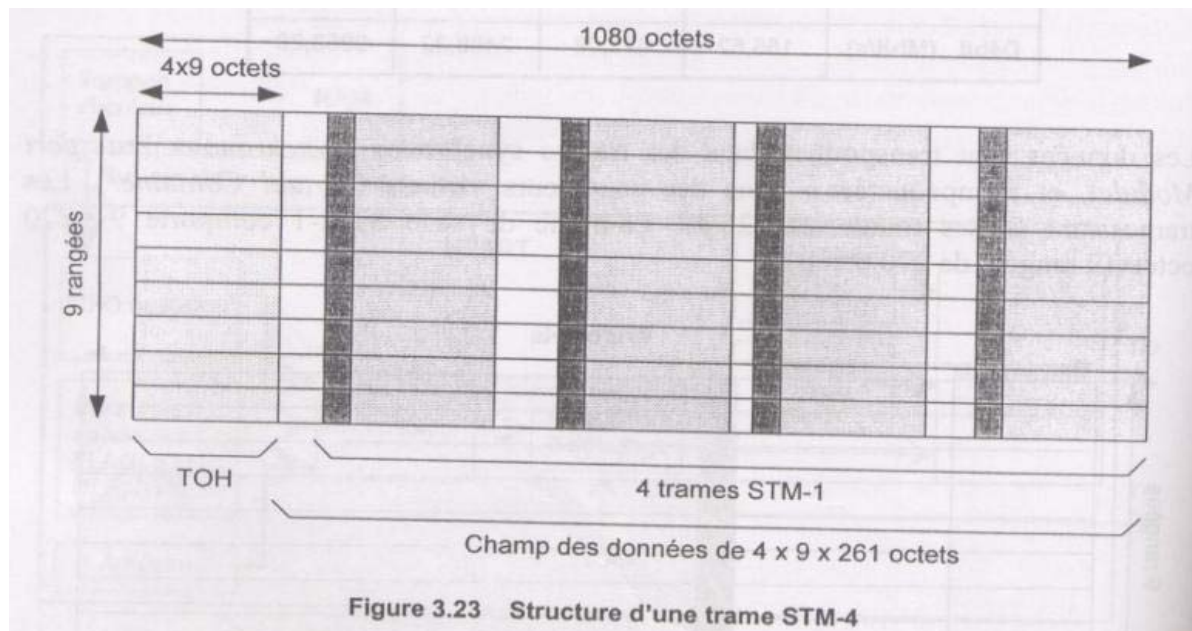


Figure 3.23 Structure d'une trame STM-4

Cette méthode permet :

- de réduire le nombre de liaisons physiques sur un réseau en utilisant des liens d'interconnexion hauts débits (figure 3.24) ;

- de transporter plusieurs types de données suivant différents protocoles dans une même trame (IP, ATM, relais de trame, voir chapitres 9 à 8).

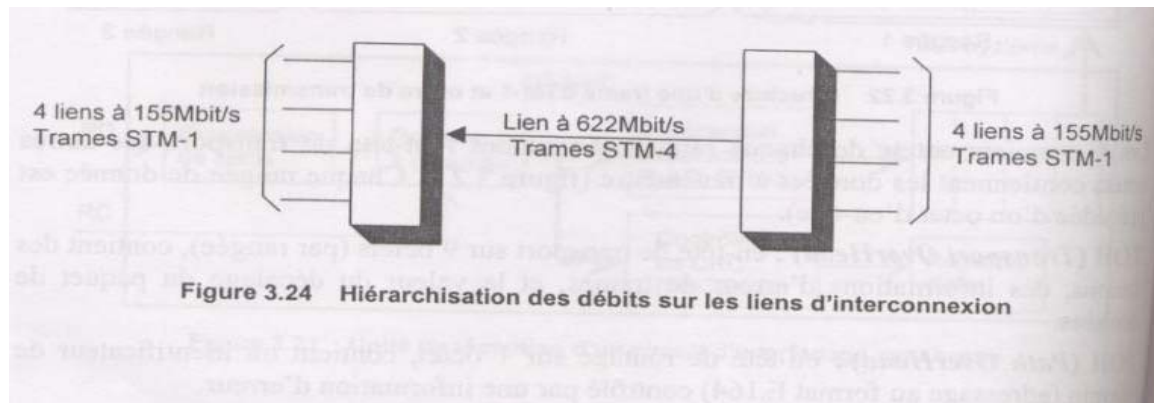


Figure 3.24 Hiérarchisation des débits sur les liens d'interconnexion

## Résumé

- Si l'émetteur transmet son signal d'horloge vers le récepteur, la transmission est dite **synchrone**. Sinon, la transmission est **asynchrone**.
- En transmission asynchrone, les informations sont transmises par **caractère** dans des trames de 9 à 11 bits : 1 bit de start, 7 ou 8 bits de données, 1 bit de parité éventuellement et 1 à 2 bits de stop. La ligne au repos est au niveau haut, le début d'une trame est annoncée par un niveau bas (bit de start).  
Les caractères sont codés sur 7 ou 8 bits suivant les codes ASCII ou ANSI. Les débits vont de 75bit/s à 56kbit/s.
- Les **protocoles asynchrones** situent au niveau transmission d'une part, au niveau application d'autre part pour le transfert de fichier.  
Les protocoles de niveau transmission servent à réguler le flux. Ils peuvent être matériels (RTS/CTS) ou logiciels (Xon/Xoff).  
Les protocoles de transfert de fichier réalisent le découpage/réassemblage du fichier en blocs et le test de leur intégrité. Les plus courants sont Kermit, Xmodem, Ymodem et Zmodem.
- Une interface asynchrone contient un circuit coupleur spécialisé (ACIA, UART, SCC). Celui-ci assure la conversion série/parallèle (parallèle/série) et gère les protocoles matériels de transmission.
- En **transmission synchrone**, le signal d'horloge peut être transmis séparément ou codé dans les données, les débits peuvent être beaucoup plus importants. Les données sont regroupées en trames pouvant contenir plusieurs milliers d'octets.
- La procédure synchrone **HDLC**, présente sur les réseaux X25, utilise trois types de trames : trames "I" (information), "S" (supervision) ou "U" (unnumbered).  
L'échange commence par l'établissement de la liaison (trames SABM et UA) et se poursuit par la transmission des données en mode bidirectionnel (trames I).  
Les trames d'information sont numérotées. Un acquittement est envoyé par le récepteur.
- Le protocole **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) est utilisé pour des liaisons point à point à haut débit. Les données sont transmises dans des trames synchrones (Synchronous Transport Module).  
Les trames contiennent un en-tête (Transport OverHead) et un container virtuel (Synchronous Payload Envelope). Ce container est précédé par un en-tête (Payload OverHead). Les trames STM peuvent transporter plusieurs types de données (IP, ATM, relais de trame,...).







**Exercices** (☞ : facile ☞☞ : moyen ☞☞☞ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

- ☞ Dans une transmission asynchrone à 9 600 bit/s, quelle est la durée entre l'émission de deux caractères ?
- ☞☞ Quel type de parité est utilisé dans la trame de la figure 3.25 ?

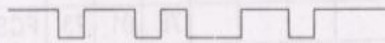


Figure 3.25

- ☞ Dans une transmission asynchrone, quel est le nombre maximum de bits correspondant à une trame ?
- ☞☞ Quelle est la durée minimale de transmission d'un fichier ASCII de 1024 caractères à 19 200 bit/s ?
- ☞☞☞ Décrire, à l'aide d'un organigramme, une transmission utilisant le protocole logiciel ETX/ACK (caractère ETX émis par l'émetteur après chaque bloc, caractère ACK renvoyé par le récepteur) pour un transfert de trois blocs de 256 caractères et un tampon de réception de 512 caractères.
- ☞☞☞ Établir les chronogrammes des signaux CLK, RxCLK et RxD lors d'une synchronisation en réception avec un rapport 1 entre les fréquences des signaux CLK et RxCLK (voir figures 3.10 et 3.11). Envisager le cas le plus défavorable. Conclusion ?
- ☞ Lors d'une transmission synchrone par modem, comment le signal d'horloge de niveau bit est-il transmis ?
- ☞ Pourquoi la procédure HDLC est-elle considérée comme une procédure orientée bit ?
- ☞☞ Compléter la figure 3.26 (format des trames HDLC : I, N(S), N(R), P/F).

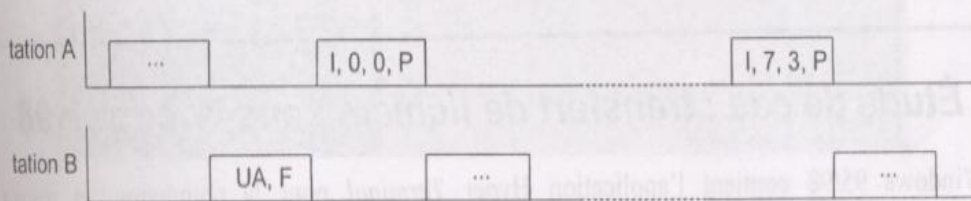


Figure 3.26

- ☞☞☞ Analyser l'échange de trames décrit dans le tableau 3.6 (valeurs hexadécimales) et établir le diagramme des échanges (voir figures 3.17 à 3.19 pour la représentation).

Tableau 3.6

Station								Réseau							
	01	53	FCS	FCS	7E										
7E	01	53	FCS	FCS	7E										
								7E	01	73	FCS	FCS	7E		
								7E	03	3F	FCS	FCS	7E		
7E	03	73	FCS	FCS	7E										
7E	01	00	31	32	FCS	FCS	7E								
								7E	03	00	45	46	FCS	FCS	7E

11. 🐰🐰🐰 Même exercice.

Tableau 3.7

Station							Réseau							
7E	01	53	FCS	FCS	7E									
7E	01	53	FCS	FCS	7E									
							7E	01	73	FCS	FCS	7E		
							7E	03	3F	FCS	FCS	7E		
7E	01	53	FCS	FCS	7E									
							7E	01	73	FCS	FCS	7E		
							7E	03	3F	FCS	FCS	7E		
							7E	03	3F	FCS	FCS	7E		
7E	03	73	FCS	FCS	7E									

12. 🐰🐰🐰 Même exercice.

Tableau 3.8

Station							Réseau								
7E	01	00	55	7A	FCS	FCS	7E								
								7E	03	00	45	23	FCS	FCS	7E
7E	01	02	26	62	FCS	FCS	7E								
7E	01	32	55	7A	FCS	FCS	7E								
								7E	01	34	FCS	FCS	7E		
7E	01	44	67	69	FCS	FCS	7E								

### Étude de cas : transfert de fichiers sous Windows 98

Windows 95/98 contient l'application *Hyper Terminal* pour la connexion au réseau téléphonique, l'émulation Minitel et le transfert de fichiers. Les paragraphes suivants présentent le paramétrage et la procédure permettant de transférer des fichiers d'un poste « appelant » vers un poste « appelé ». Tout d'abord, l'équipement de chaque côté du réseau téléphonique doit être composé d'un ordinateur disposant d'une application de transfert de fichier et d'un modem (figure 3.27).

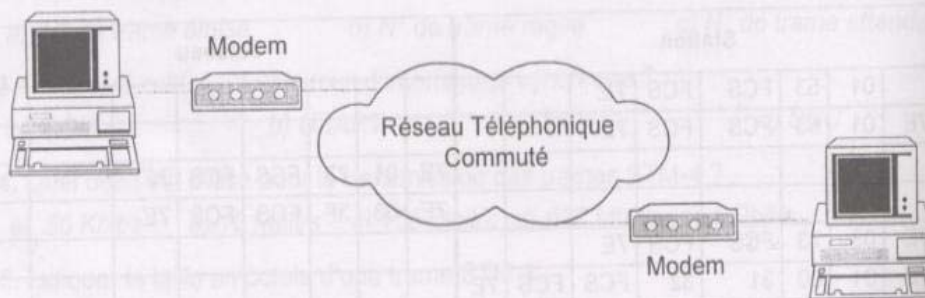


Figure 3.27 Equipement pour le transfert de fichiers

Les modems doivent être capables d'exploiter le même protocole (voir paragraphe 4.2). L'installation du modem, sous Windows 98, se fait par le menu ajout de périphérique du menu panneau de configuration (figure 3.28). Le cas présenté est celui de modems externes reliés au port série COM 1.

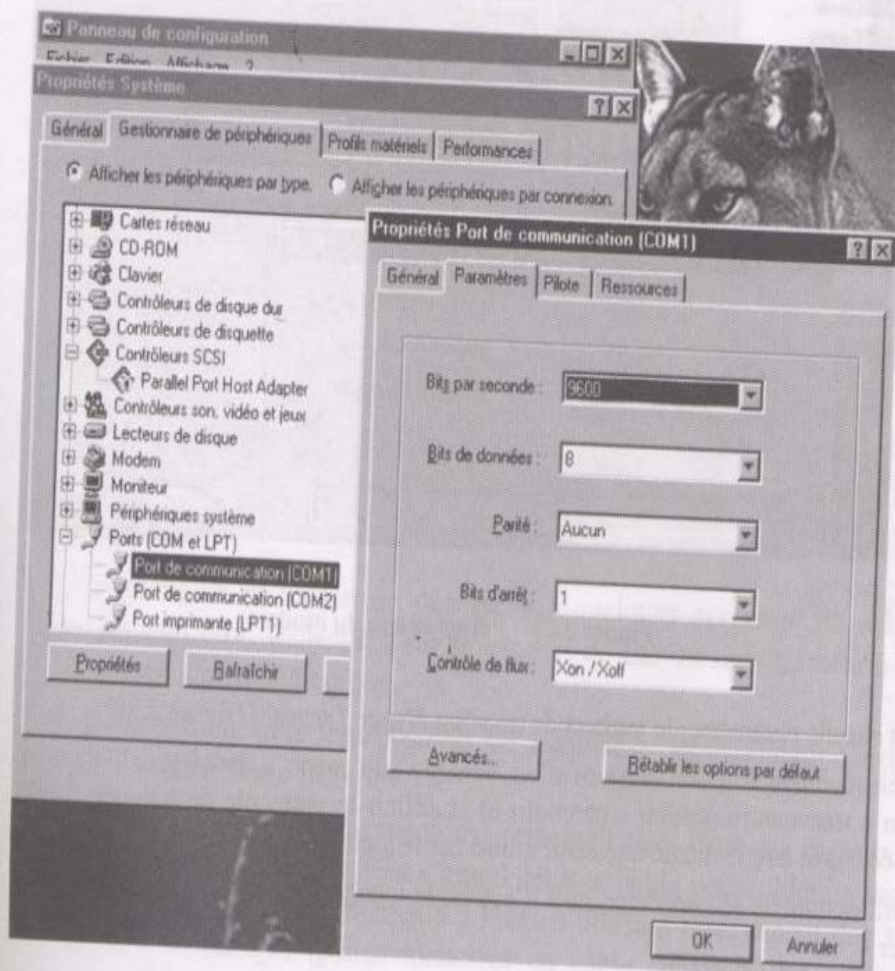


Figure 3.28 Paramétrage du port série

Les 5 paramètres à définir au niveau du port série pour le dialogue entre l'ordinateur et le modem sont (les valeurs entre parenthèse sont les exemples de la figure 3.28) le débit (9600bit/s), le nombre de bits de données (8bits), la parité (aucune), le nombre de bits de stop (1bit) et le protocole de régulation de flux (Xon/Xoff).

Ces paramètres doivent être identiques à ceux définis pour le modem (figure 3.29).

À noter que les paramètres utilisés entre le poste et le modem « appelants », ne sont pas forcément les mêmes que ceux utilisés entre le poste et le modem « appelés ».



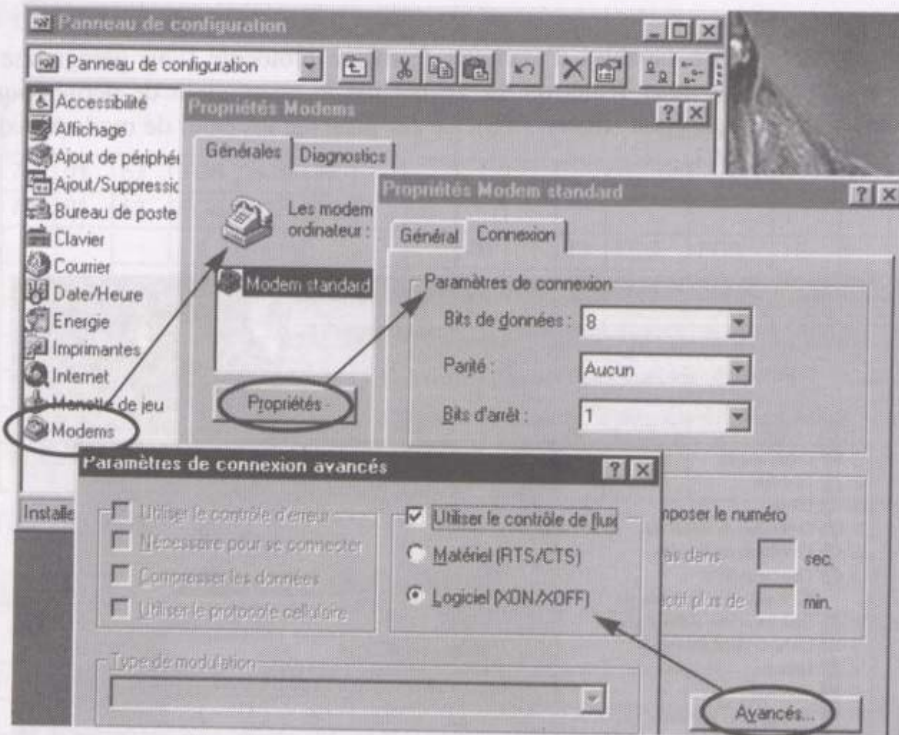


Figure 3.29 Paramétrage du modem

Il faut ensuite paramétrer le logiciel de transfert *Hyper Terminal* (figure 3.30).

En sélectionnant l'option « envoi d'un fichier » du menu « transfert », il faut choisir le fichier à transmettre (option « parcourir ») et définir le protocole de transfert à utiliser. Ce protocole doit être le même que celui utilisé par le logiciel de réception du poste « appelé ».

Il suffit ensuite de se connecter, puis d'activer la touche « envoi » de la fenêtre « envoi d'un fichier ».

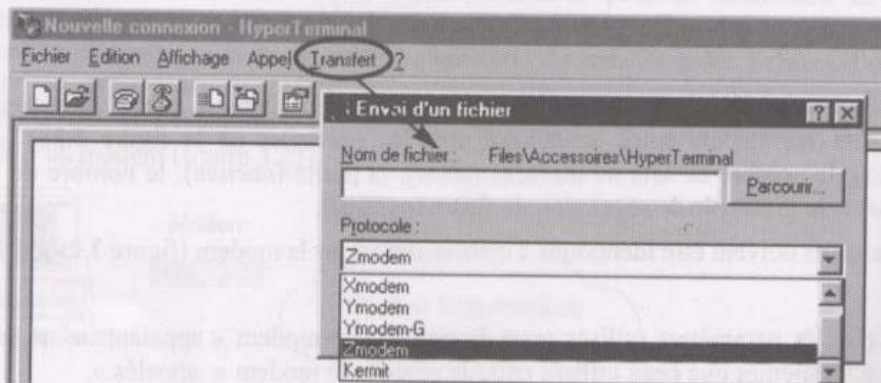


Figure 3.30 Paramétrage du logiciel de transfert *Hyper Terminal*

**Registre :** Organe de base d'un ordinateur capable de stocker une information élémentaire pour la mettre en relation directe avec les organes de calcul.

**Echantillonnage :** Définir la variation d'une grandeur au cours du temps par la suite de ses valeurs, appelées échantillons, à des instants donnés, généralement périodique.

## Chapitre 3

### QCM

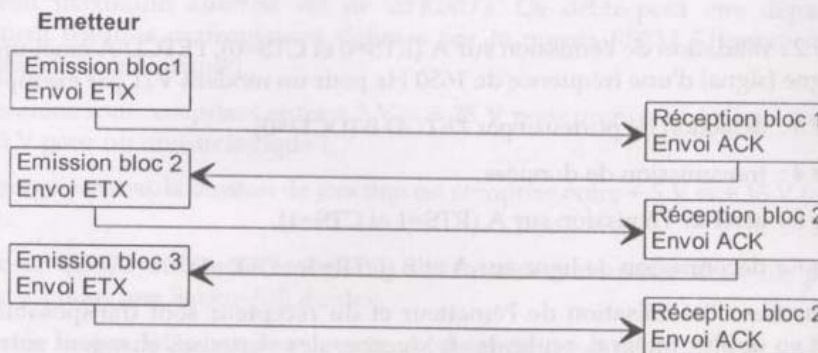
Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
a)	c)	c)	b)	a); b)	b); c)	a); c)	a); d)
Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	
a); c); d)	b)	c)	c)	b); d)	d)	c)	

### Exercices

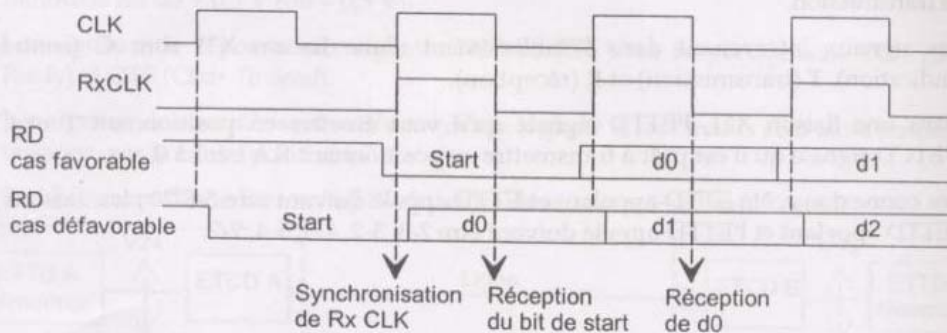
1. Dans une transmission asynchrone, la durée séparant l'émission de deux caractères peut être quelconque.
2. Le nombre de bits à 1 est de 5. Il s'agit donc d'une parité impaire.
3. Le nombre de bits sur une trame asynchrone est généralement limité à 11, ce qui correspond aux deux formats suivants :
  - 1 bit de départ, 8 bits de données, 1 bit de parité et 1 bit de stop ;
  - 1 bit de départ, 7 bits de données, 1 bit de parité et 2 bits de stop.

4. Le plus petit format contiendra 9 bits par caractère, soit 9 216 bits à transmettre. La durée minimale de transmission sera donc de  $9216/19200$ , soit 480 ms.

5.



6.



L'horloge de réception RxCLK est synchronisée, suite à la détection d'un bit de start, sur le premier front montant de l'horloge de référence CLK.

7. Le signal d'horloge n'est pas transmis, il est reconstitué à la réception à partir des signaux de données.
8. La longueur des champs constitutifs de la trame HDLC est variable. Il ne s'agit plus d'une juxtaposition de caractères de longueur identique.
9. La première trame émise par la station A est une trame d'établissement : SABM, P. Les trames émises par la station B seront les acquittements respectivement des trames 0 et 7 (dans le cas où il n'y a pas de rejet), soit RR, 1, F et RR, 0, F.
10. 11. 12. Il s'agit de trames au protocole HDLC. Le premier octet correspond au fanion (7E soit 01111110 en binaire), le deuxième octet donne l'adresse du réseau (01) ou l'adresse de la station (03) suivant qu'il s'agit d'une trame de commande ou de réponse, le troisième octet permet d'identifier la trame.

# Transmission du signal numérique

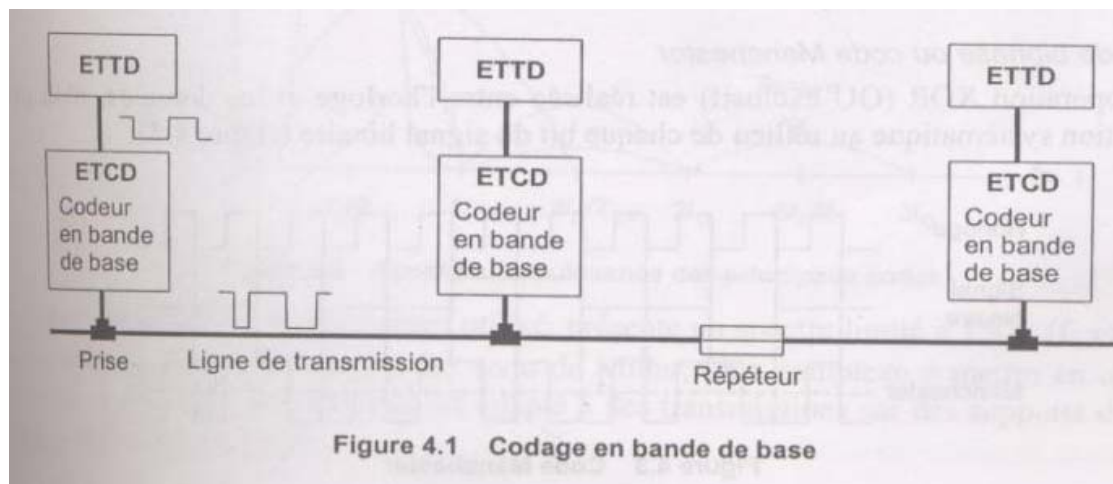
## 4.1 TRANSMISSION EN BANDE DE BASE

### 4.1.1 Principe

Lorsque la longueur de la liaison ne dépasse pas quelques centaines de mètres, les informations peuvent être transmises sur le support de liaison sans transformation du signal numérique en signal analogique.

Ce type de transmission sans transposition (réarrangement) de fréquence par modulation est appelé transmission en bande de base (bande d'origine en digitale) (figure 4.1).

La transmission en bande de base rencontrée principalement dans les réseaux locaux permet d'obtenir des circuits de données à grand débit et faible portée (débits supérieurs à 1 Mbit/s pour des distances inférieures à 1 Km) en utilisant directement des supports physiques de types métallique (paires torsadées ou câble coaxiaux) ou optique avec éventuellement l'adjonction de répéteurs disposés sur des intervalles allant de 500 mètres à quelques kilomètres.



Le signal binaire n'est généralement pas transmis directement sur la ligne et différents codages numériques sont utilisés pour différentes raisons :

- la récupération de l'horloge nécessaire en transmission synchrone est facilitée par des séquences qui présentent des changements d'état fréquents et évitent ainsi les longues suites de 1 ou de 0 ;
- le spectre d'un signal binaire est concentré sur les fréquences basses qui sont les plus affaiblies sur la ligne ;
- les perturbations subies par un signal sont proportionnelles à la largeur de sa bande de fréquence.

Les codages en bande de base vont donc essentiellement avoir pour rôle de diminuer la largeur de bande du signal binaire et de transposer celle-ci vers des fréquences plus élevées (voir figure 4.6).

**Bande de fréquence** : Ensemble de fréquences comprises entre deux limites.

**Bande passante** : Intervalle de fréquences dans lequel un système mécanique ou électronique laisse passer un signal sans distorsion notable. (Dans le cas d'une transmission, plus la bande passante est large, plus la quantité d'informations qui peut être véhiculée est importante.).

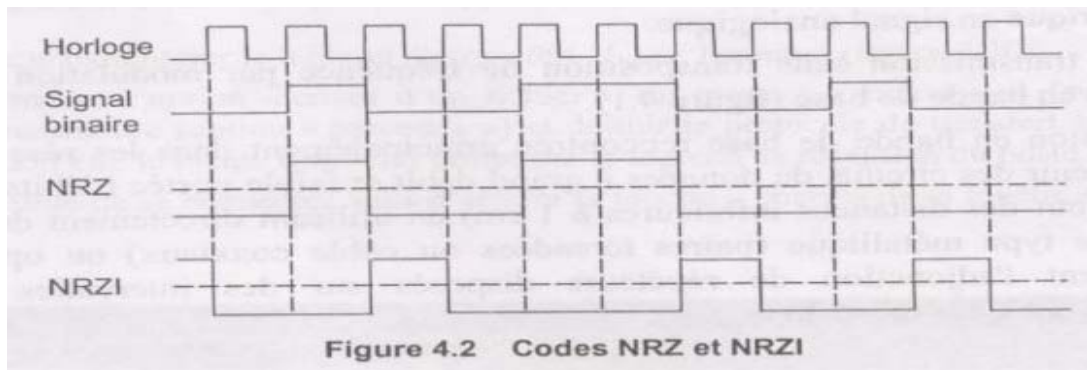
### 4.1.1 Principaux codages

#### a) Code NRZ : No Return to Zero

Le signal binaire est simplement transposé en tension pour éviter une composante continue non nulle, source de consommation (figure 4.2).

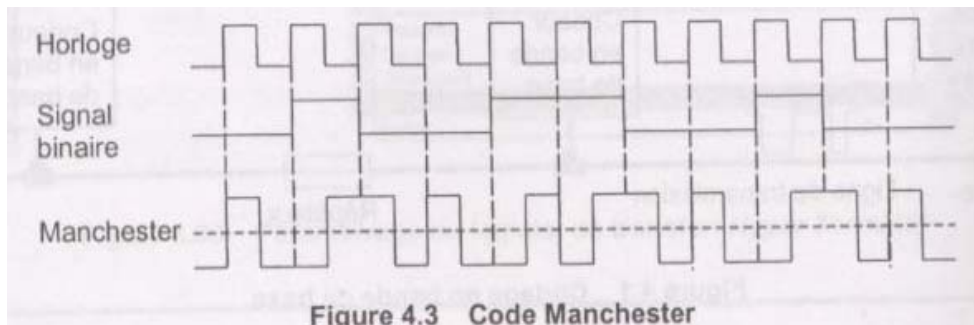
Le code NRZI (*No Return to Zero Inverted*) présente les mêmes caractéristiques mais pour éviter les successions de 0, le signal reste dans le même état pour coder un 1 et change d'état pour coder un 0.





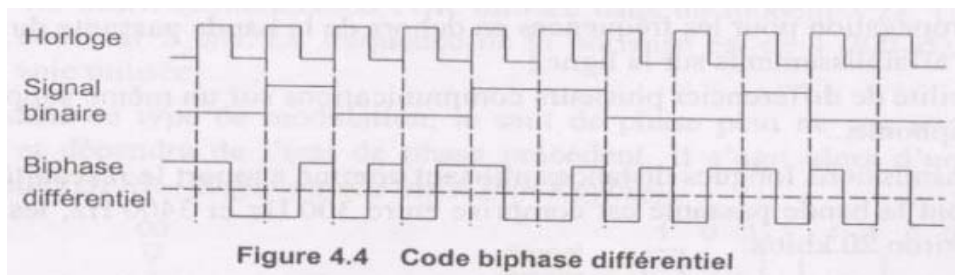
**b) Code biphasé ou code Manchester**

Une opération XOR (OU exclusif) est réalisée entre l'horloge et les données, d'où une transition systématique au milieu de chaque bit du signal binaire (figure 4.3).



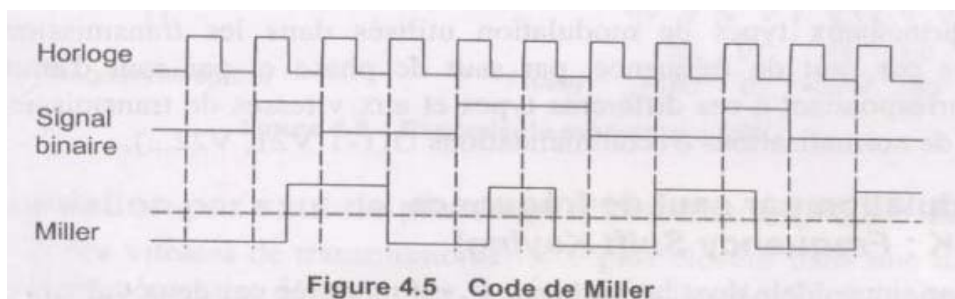
**c) Code biphasé différentiel ou Manchester différentiel**

Une transition systématique est réalisée au milieu de chaque bit. Pas de transition pour coder un bit à 1, une transition pour coder un bit à 0 (figure 4.4).

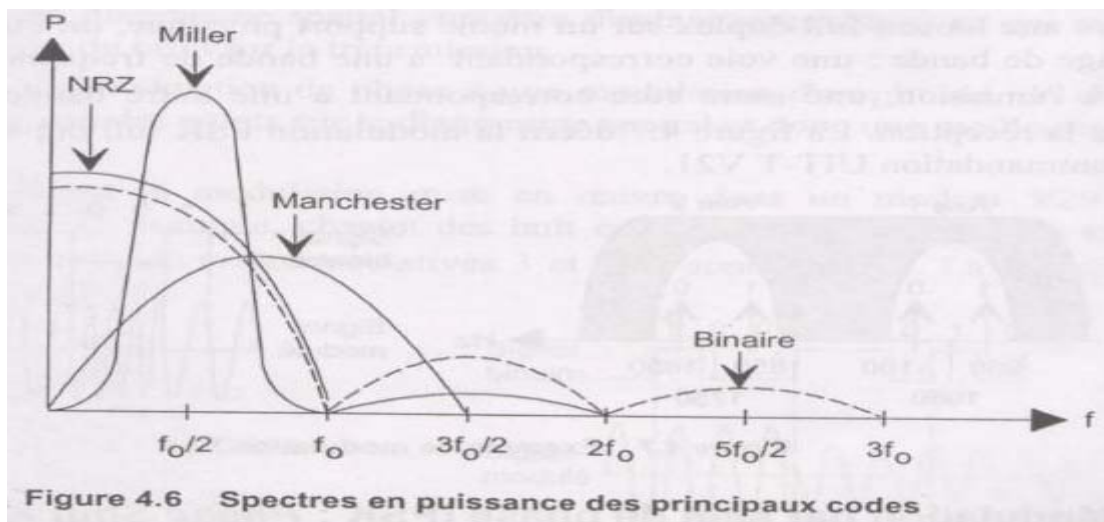


**d) Code de Miller ou Delay Mode**

Une transition au milieu du bit pour un 1, pas de transition en milieu de bit pour un 0. Une transition à la fin du bit pour un 0 si le bit suivant est aussi un 0 (figure 4.5).



La figure 4.6 donne l'allure des spectres en puissance des différents codes.



Le code Manchester, fréquemment utilisé, présente un spectre limité à  $1,5 f_0$  ( $f_0$  étant la fréquence du signal d'horloge). Le code de Miller, plus complexe à mettre en œuvre, possède un spectre plus étroit et est adapté à des transmissions sur des supports dont la bande passante est limitée.

## 4.2 MODULATION/DEMULATION

Différentes raisons rendent impossible la transmission en bande de base à des vitesses élevées et sur de grandes distances :

- pas de propagation pour les fréquences en dehors de la bande passante du support ;
- pertes et affaiblissements sur la ligne ;
- impossibilités de différencier plusieurs communications sur un même support ;
- bruit, diaphonie...

Pour les transmissions longues distances utilisant comme support le réseau téléphonique commuté (RTC) dont la bande passante est comprise entre 300 Hz et 3400 Hz, les débits sont limités à environ 20 kbit/s.

Toutes ces raisons imposent la transformation des données numériques à transmettre en un signal analogique modulant (rendre avec des inflexions variées, changements variés) une onde porteuse, signal adapté au support de transmission. Les opérations de modulation en émission et de démodulation en réception sont réalisées par l'ETCD couramment appelé modem (**mod**ulateur-**dém**odulateur).

Les trois principaux types de modulation utilisés dans les transmissions sont les modulations par saut de fréquence, par saut de phase et par saut d'amplitude. Les modems correspondant à ces différents types et aux vitesses de transmission associées font l'objet de normalisations (recommandations UIT-T V21, V22...).

### 4.2.1 Modulation par saut de fréquence (FSK : *Frequency Shift Keying*)

Une porteuse sinusoïdale dont la fréquence  $F_0$  est modulée par deux valeurs opposées de fréquence ( $+f_1$  et  $-f_1$ ) permet la représentation des deux niveaux logiques. Pour permettre une liaison full duplex sur un même support physique, on utilise la technique du partage de bande : une voie correspondant à une bande de fréquence ( $F_0-f_1$  ;  $F_0+f_1$ ) servira à l'émission, une autre voie correspondant à une autre bande ( $F_0'-f_2$  ;  $F_0'+f_2$ ) servira à la réception. La figure 4.7 décrit la modulation FSK full duplex correspondant à la recommandation UIT-T V21.

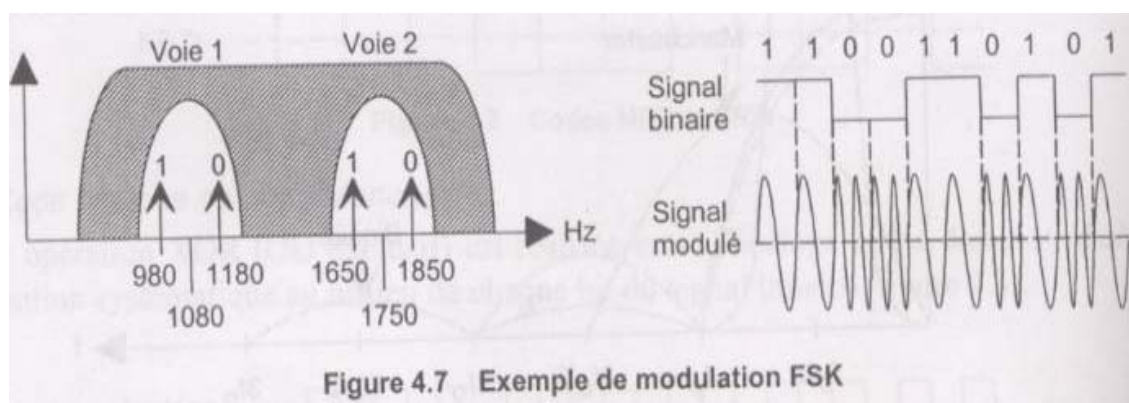


Figure 4.7 Exemple de modulation FSK

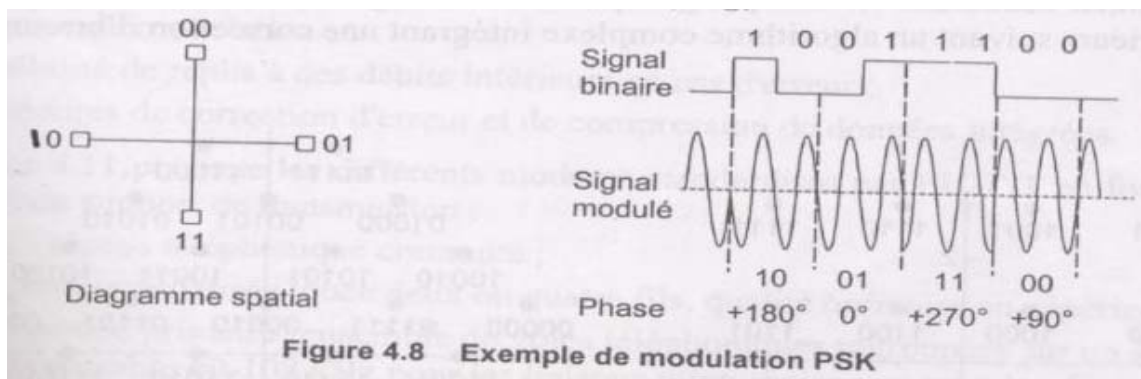
#### 4.2.2 Modulation par saut de phase (PSK : *Phase Shift Keying*)

La modulation par saut de phase ou PSK associe à un code binaire une valeur de la phase  $\Phi$  de la porteuse sinusoïdale  $V\sin(\omega t + \Phi)$ . En utilisant des codes binaires de 2, 3 bits ou plus, on peut ainsi augmenter la vitesse de transmission sans augmenter la fréquence de modulation.

La modulation PSK permet ainsi d'obtenir des vitesses de transmission plus élevées que la modulation FSK avec les mêmes limitations en bande passante du support de transmission.

La figure 4.8 décrit la modulation PSK utilisée dans un modem V22. Chaque état de phase est codé sur 2 bits. La fréquence de la porteuse est de 1 200 Hz ou 2 400 Hz suivant la voie utilisée.

De plus, dans ce type de modulation, le saut de phase peut ne pas avoir une valeur constante et dépendre de l'état de phase précédent. Il s'agit alors d'une modulation différentielle (DPSK – *Differential Phase Shift Keying*).

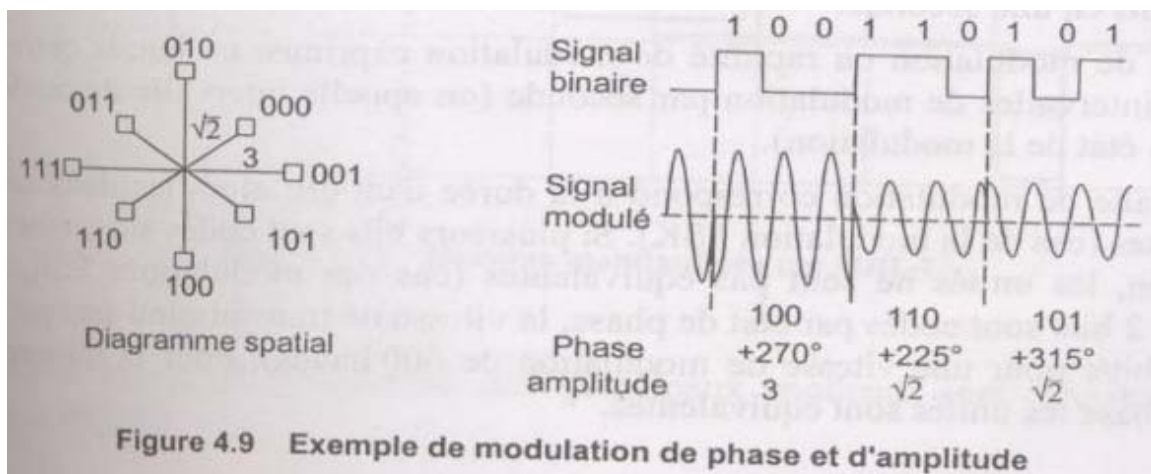


#### 4.2.3 Modulation par saut de phase et d'amplitude (PSK + AM)

Pour obtenir des vitesses de transmission encore plus élevées dans une modulation de type PSK, il est nécessaire de multiplier le nombre d'états de phase (couramment 4, 8, 16 états ou plus). Les différences de phase entre états vont être réduites (les points correspondants du diagramme spatial vont être d'autant rapprochés) ce qui augmentera l'influence relative du bruit sur la transmission.

En combinant une modulation de phase à une modulation d'amplitude, on obtient une meilleure répartition des points sur le diagramme spatial et donc une meilleure immunité au bruit.

La figure 4.9 décrit la modulation mise en œuvre dans un modem V29 utilisé à 7 200 bit/s. Dans cet exemple, chacun des huit états de phase sont codés sur 3 bits ; deux valeurs d'amplitude (valeurs relatives 3 et  $\sqrt{2}$ ) sont utilisées. La fréquence de la porteuse est de 1 700 Hz.

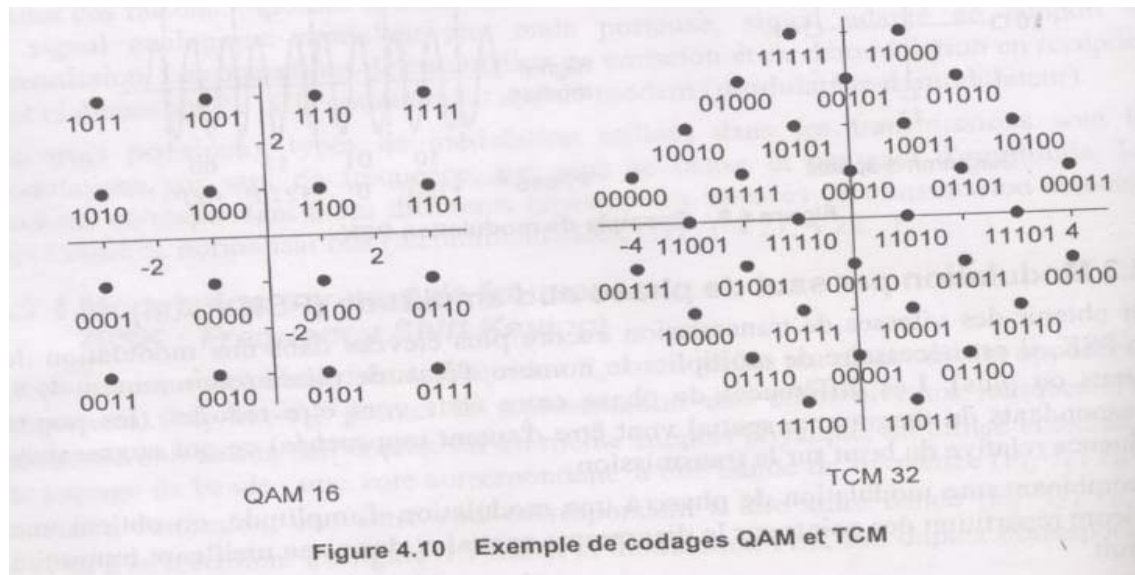


La modulation en amplitude avec porteuse en quadrature (grandeurs sinusoïdales de même période, entre lesquelles existe une différence de phase d'un quart de période) est un cas particulier. Ce type de modulation, encore appelé **QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou MAQ (Modulation d'amplitude en quadrature), permet de coder jusqu'à 4 bits par état de phase mais est fortement dépendant de la qualité des lignes utilisées.

La figure 4.10 décrit une modulation QAM 16. Pour chacun des groupes de 4 bits, les deux bits de poids faibles sont codés de façon différentielle en fonction de la combinaison précédente.



Les modems rapides utilisent une autre variante, la modulation codée en treillis **TCM** (*Trellis Coded Modulation*). Chaque groupe de bit est également codé en fonction des états antérieurs suivant un algorithme complexe intégrant une correction d'erreurs.



#### 4.2.4 Vitesse de transmission et vitesse de modulation (bit/s et baud)

La vitesse de transmission ou débit binaire exprimée en bit/s correspond au nombre de bits transmis en une seconde.

La vitesse de modulation ou rapidité de modulation exprimée en bauds correspond au nombre d'intervalles de modulation par seconde (on appelle intervalle de modulation la durée d'un état de la modulation).

Si l'intervalle de modulation correspond à la durée d'un bit, alors les deux unités sont équivalentes (cas de la modulation FSK). Si plusieurs bits sont codés sur un intervalle de modulation, les unités ne sont pas équivalentes (cas des modulations PSK, QAM et TCM ; si 2 bits sont codés par état de phase, la vitesse de transmission sera par exemple de 1 200 bit/s pour une vitesse de modulation de 600 bauds). Pour la transmission en bande de base les unités sont équivalentes.

### 4.3 MODEMS

#### 4.3.1 Normes

La classification des modems selon les recommandations de l'UIT-T est réalisée suivant différentes caractéristiques :

- mode d'exploitation half duplex ou full duplex ;
- mode de transmission asynchrone ou synchrone ;
- vitesse de transmission de 300 bit/s à 56 000 bit/s ;
- support de transmission ;
- principe de modulation ;
- possibilité de replis à des débits inférieurs en cas d'erreur ;
- procédures de correction d'erreur et de compression de données intégrées.

La figure 4.11 présente les différents modems standardisés par l'UIT-T en fonction des débits et du support de transmission :

- RTC : réseau téléphonique commuté ;
- LS : ligne spécialisée louée deux ou quatre fils, qualité ordinaire ou supérieure ;
- GP : groupe primaire (ensemble de voies téléphoniques regroupées sur un support de bande passante 60-108 kHz pour les liaisons interurbaines ou grandes distances).

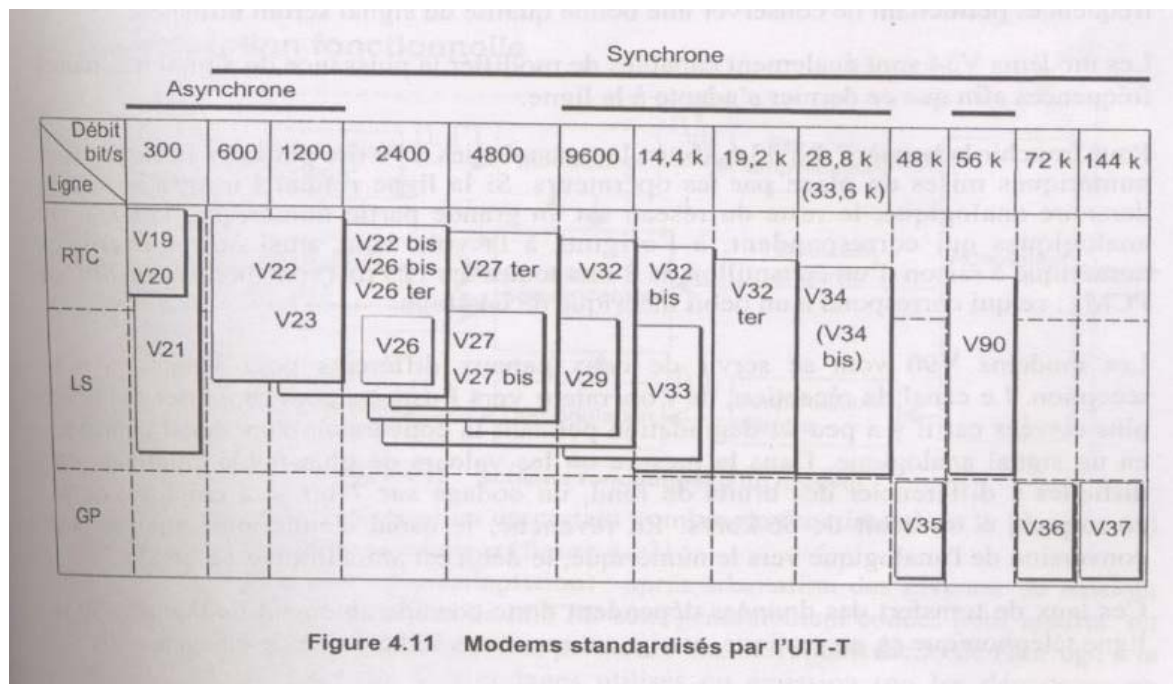


Figure 4.11 Modems standardisés par l'UIT-T

Les caractéristiques de modulation des principaux modems sont décrites dans le tableau 4.1.

Le modem **V23** peut fonctionner en *half duplex* à 600 bit/s ou 1 200 bit/s, une voie de retour à 75 bit/s permet éventuellement des transferts en full duplex asymétrique. Les versions améliorées (V22 bis, V32 bis, V34 bis...) utilisent des procédés de modulation par saut de phase et d'amplitude plus complexes (les valeurs de phase et d'amplitude sont également fonction des états antérieurs, voir modulations QAM et TCM) permettant d'augmenter les débits tout en assurant la compatibilité avec les recommandations primaires (V22, V32, V34...).

Pour les modems fonctionnant à des débits élevés (9 600 bit/s à 33 600 bit/s), des procédures de compression de données (MNP4 et V42) sont utilisées et permettent de réduire sensiblement les temps de transfert et de limiter les erreurs de transmissions fréquentes à haute vitesse.

Par ailleurs, le débit effectif sur les modems rapides **V34** ou V34 bis n'atteint pas toujours 28800 bit/s ou 33600 bit/s et dépend fortement de la qualité de la ligne. La norme V34 prévoit l'utilisation de 6 vitesses de modulation (3 principales à 2400, 3000 et 3200 bauds, et 3 optionnelles à 2743, 2800 et 3429 bauds). Pour chacune de ces vitesses, il existe plusieurs systèmes d'encodage qui forment 60 combinaisons différentes. Les modems peuvent ainsi adapter le type de communication à la qualité de la ligne. En effet, avant de commencer tout transfert, un modem V34 analyse le rapport signal/bruit sur une plage de fréquences comprises entre 150 et 3750 Hz. Seules les fréquences permettant de conserver une bonne qualité du signal seront utilisées.

Les modems V34 sont également capables de modifier la puissance du signal à certaines fréquences afin que ce dernier s'adapte à la ligne.

Pour franchir la barrière des 33,6 kbit/s, la technologie **V90** tire parti des infrastructures numériques mises en place par les opérateurs. Si la ligne reliant l'utilisateur au central demeure analogique (boucle locale), le reste du réseau est en grande partie numérique. Les signaux analogiques qui correspondent, à l'origine, à la voix vont ainsi être convertis en numérique à raison d'un échantillon de 8 bits toutes les 125 µs (voir modulation MIC ou PCM) ; ce qui correspond à un débit théorique de 64 kbit/s.

Les modems V90 vont se servir de deux canaux différents pour l'émission et la réception. Le canal de réception, de l'opérateur vers l'utilisateur, peut supporter des débits plus élevés car il y a peu de dégradation pendant la conversion d'un signal numérique en un signal analogique. Dans la mesure où les valeurs de plus faible amplitude sont difficiles à différencier des bruits de fond, un codage sur 7 bit sera employé, ce qui correspond à un débit de 56 kbit/s. En revanche, le canal d'émission supportant une conversion de l'analogique vers le numérique, le débit est alors limitée à 33,6 kbit/s.

Ce taux de transfert de données dépend donc considérablement de la qualité de la ligne téléphonique et, en pratique, atteignent rarement 56 kbit/s en descendant.

Tableau 4.1 Caractéristiques des principaux modems

Norme	Domaine	Débit (bit/s)	Repli (bit/s)	Vitesses de modulation (bauds)	Fréquence porteuse (Hz)	Modulation
V17	Fax	14400	9600			TCM
V21	Données	300		300	1080 - 1750	FSK ( $\pm 100$ Hz)
V22	Données	600 - 1200		600	1200 - 2400	PSK (2bits)
V22 bis		2400		600	1200 - 2400	QAM (4 bits)
V23	Minitel	75 - 1200		1200	420 - 1700	FSK ( $\pm 30$ ou $\pm 400$ Hz)
V27	Fax	4800		1600	1800	PSK (3 bits)
V29	Fax	9600	7200 - 4800	2400	1700	PSK + AM (4bits)
V32	Données	9600	4800 - 2400	2400	1800	TCM (9600) QAM (4800)
V32 bis	Données	14400	12000 à 4800	2400	1800	TCM (6 bits)
V32 ter	Données	19200	16800	2400	1800	TCM (8bits)
V34	Données	28800	26400 à 2400	3200	150 - 3750	TCM (9 bits)
V34 bis	Données	33600	2800 à 2400	3200	150 - 3750	TCM
V90	Données	56000 33600	33600 à 2400	8000 - 3200		TCM (MIC)

#### 4.3.2 Description fonctionnelle

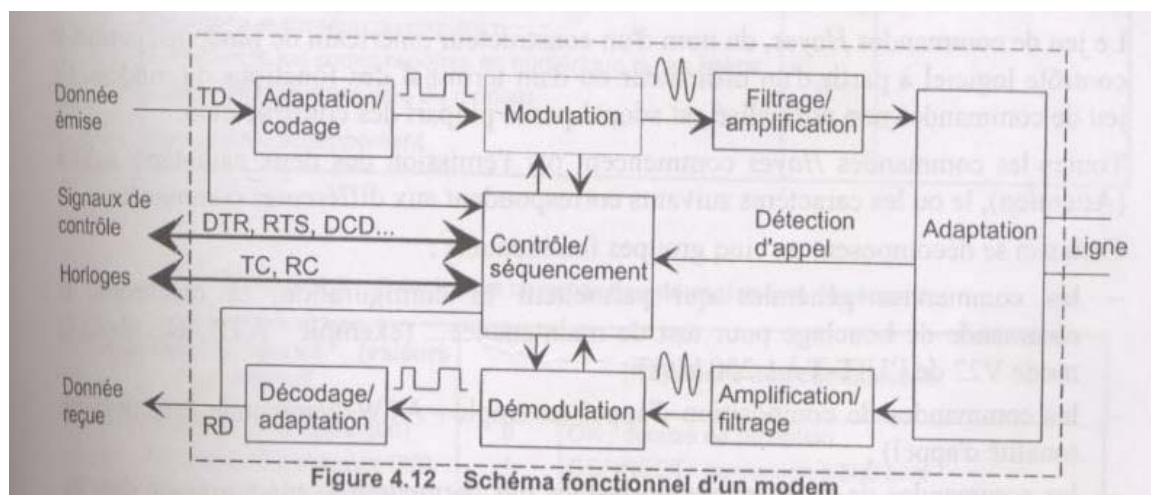


Figure 4.12 Schéma fonctionnel d'un modem

Un modem peut être décomposé en un certain nombre de fonctions dont la plupart sont intégrées dans des circuits spécialisés (figure 4.12) :

- adaptation/codage (décodage/adaptation) : après adaptation des niveaux de tension, les données numériques issues de l'ETTD sont généralement codées pour assurer un nombre suffisant de transitions 1-0 et permettre une extraction facile de l'horloge à la réception après décodage. Les codages utilisés en émission (ou les décodages en réception) sont souvent appelés embrouillages (ou désembrouillages) et sont similaires à ceux utilisés pour la transmission en bande de base (Manchester, Miller...);

- contrôle/séquence : cette fonction permet la gestion des différents circuits V24 de la jonction ainsi que des circuits de détection d'appel côté ligne. Le contrôle est réalisé par un circuit intégré de type microcontrôleur pouvant dialoguer avec l'ETTD par l'intermédiaire des lignes TD et RD et permettant ainsi un contrôle logiciel du modem à l'aide des commandes Hayes (voir paragraphe suivant). Pour les modems récents, le microcontrôleur rapide associé à de la mémoire vive sera capable d'analyser les fenêtres de la modulation QAM ou PCM;

- modulation : réalise la transformation du signal numérique en signal analogique modulé, l'horloge peut être fournie par l'ETTD;

- démodulation : réalise la transformation du signal analogique modulé en signal numérique, l'horloge est régénérée à partir du signal modulé et peut être utilisée par l'ETTD en transmission synchrone;

- filtrage/amplification : le signal analogique est filtré pour limiter son spectre de fréquence à la bande passante de la ligne, puis amplifié pour ajuster son niveau au niveau maximum autorisé sur la ligne;



- adaptation : réalisée par un transformateur de ligne ou un composant discret, cette fonction permet l'isolation et la mise en conformité avec les spécifications électriques de la ligne et fait l'objet d'un agrément de la DGPT (Direction Générale des Postes et Télécommunications).

### 4.3.3 Le code Hayes

Le jeu de commandes *Hayes*, du nom d'un constructeur américain de modems, permet le contrôle logiciel à partir d'un ordinateur ou d'un terminal des fonctions du modem. Ce jeu de commandes non normalisé est adopté par la plupart des constructeurs.

Toutes les commandes *Hayes* commencent par l'émission des deux caractères « AT » (Attention), le ou les caractères suivants correspondent aux différentes commandes.

Celles-ci se décomposent en cinq groupes fonctionnels :

- les commandes générales qui permettent la configuration, la connexion, la commande de bouclage pour test de maintenance... (exemple : ATB sélectionne le mode V22 de l'UIT-T à 1200 bit/s) ;
- les commandes de composition d'appel (exemple : ATW commande l'attente d'une tonalité d'appel) ;
- les commandes de registres mémorisables qui permettent la mémorisation dans les registres internes du modem de différents paramètres (exemple : ATS7 = 02 pour charger le registre 7 correspondant au délai d'attente de porteuse avec la valeur 2 s) ;
- les réponses aux commandes (exemple : AT3 pour signaler une erreur de connexion) ;
- Les commandes avancées sont précédées d'un caractère « & » et sont employées essentiellement pour configurer le modem (exemple : AT&N14 pour forcer le débit à 28 800 bit/s).

Les tableaux 4.2 et 4.3 décrivent les principales commandes Hayes ; un exemple d'utilisation de ces commandes est donné ci-dessous.

ATZ : commande l'initialisation du modem avec les paramètres mémorisés ;

ATZ OK : le modem accepte la commande (pour un code réponse sélectionné en numérique, la séquence serait ATZ 0) ;

ATDP0, 0145689903 : composition d'un numéro avec appel par impulsion et pause de 2 s après appel du standard.

**Tableau 4.2 Principales commandes générales et de composition d'appel**

Commandes générales		Commandes de composition d'appel	
AT	Précède toute commande (sauf A/ et +++)	T	Appel par touche
A/	Répète la dernière commande	P	Appel par impulsion
D	Précède un numéro d'appel	.	Pause entre numéro
E	Valide ou supprime l'écho vers le terminal	@	Attente de silence
F	Sélectionne le mode full ou half duplex	W	Attente d'une tonalité
H	Raccroche	!	Transfert d'appel
M	Coupe le haut-parleur	O	Fin de commande
O	Retourne à l'état connecté	R	Retournement de fréquence
Q	Autorise ou inhibe le retour des codes réponse		
Sn=xx	Met une valeur xx dans le registre n		
Sn?	Demande le contenu du registre n		
V	Sélectionne les codes réponse en numérique ou en littéral		
Z	Initialisation programmée du modem		
+++	Séquence d'échappement		

Tableau 4.3 Principales commandes de registre et de réponse

Commandes de registre (valeurs par défaut)		Réponses aux commandes	
S0	Sonnerie pour appel (00)	0	OK : accusé de réception
S1	Compteur de sonnerie (00)	1	CONNECT : connexion à 300 bit/s
S2	Code escape (27 ASCII)	2	RING : détection d'appel
S3	Retour chariot (13 ASCII)	3	NO CARRIER : pas de détection de porteuse
S4	Saut de ligne (10 ASCII)	4	ERROR : commande non valide
S5	Retour arrière (08 ASCII)	5	CONNECT 1200 : connexion à 1200 bit/s
S6	Attente pour tonalité (2 s)	6	NO DIALTONE : pas de tonalité
S7	Attente de porteuse (30 s)	7	BUSY : le modem a détecté une ligne occupée
S8	Attente pour virgule (2 s)	8	NO ANSWER : pas de réponse
		10	CONNECT 2400 : connexion à 2400 bit/s

#### 4.4 CARACTERISTIQUES D'UNE VOIE DE TRANSMISSION

##### 4.4.1 Capacité

Les grandeurs caractéristiques d'une voie de transmission sont liées par un certain nombre de relations dérivées de la loi de Shannon.

Une voie de transmission ayant une largeur de bande de  $\beta$  Hz ne peut transmettre des signaux dont la vitesse de modulation est supérieure à  $2\beta$  bauds.

Ainsi, le réseau téléphonique dont la largeur de bande est de 3 100 Hz (300 à 3 400 Hz) permet théoriquement des vitesses de modulation maximales de 6 200 bauds.

Le débit binaire maximum ou **capacité**  $C$  d'une ligne de transmission peut être défini suivant les caractéristiques de la ligne par la relation :

$$C = \beta \log_2 (1 + S/N)$$

$S/N$  étant le rapport signal/bruit en puissance du signal, généralement exprimé sous la forme  $10\log_{10}S/N$  en décibel (dB).

En reprenant l'exemple du réseau téléphonique et pour un rapport signal/bruit typique de 1000 (30 dB), on obtient une capacité maximale de l'ordre de 31 000 bit/s. Cette valeur théorique est rarement atteinte à cause des diverses imperfections de la voie (le débit moyen sur un modem V34 est souvent inférieur à 28 800 bit/s).

##### 4.4.2 Temps de propagation et temps de transmission

**Le temps de propagation  $T_p$**  est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre, ce temps dépend donc de la nature du support, de la distance et également de la fréquence du signal.

Pour une transmission radioélectrique par satellite, ce temps est calculé à partir de la vitesse de propagation qui est égale à celle de la lumière, soit 300 000 kms. Sur le réseau téléphonique utilisant des paires métalliques, ce temps de propagation peut être compris entre 10 et 40  $\mu$ s par kilomètre. Pour des liaisons locales à grand débit sur câble coaxial, telles que celles mises en œuvre sur le réseau Ethernet, le temps de propagation est estimé à environ 4  $\mu$ s/km.

**Le temps de transmission  $T_t$**  est le délai qui s'écoule entre le début et la fin de la transmission d'un message sur une ligne, ce temps est donc égal au rapport entre la longueur du message et le débit de la ligne.

Le temps de traversée ou **délat d'acheminement** sur une voie est égal au temps total mis par un message pour parvenir d'un point à un autre, c'est donc la somme des temps  $T_p$  et  $T_t$ .

Pour évaluer l'importance relative du temps de propagation  $T_p$ , il est nécessaire de comparer celui-ci au temps de transmission  $T_t$  du message sur la ligne.

Ainsi pour un message de 100 bits transmis à 2 400 bit/s sur une paire torsadée d'une longueur de 100 Km avec un temps de propagation de 10  $\mu$ s/km, on obtient :

$$T_t = 100/2\ 400 = 42\ \text{ms} ;$$

$$T_p = 10 * 100 = 1\ 000\ \mu s = 1\ ms.$$

Pour un message de 10 000 bits sur un réseau Ethernet à 10 Mbit/s et sur une distance de 100 m, on obtient :

$$T_t = 10\ 000 / 10\ 000\ 000 = 1\ ms ;$$

$$T_p = 4 * 0,1 = 0,4\ \mu s = 0,0004\ ms.$$

Dans la plupart des cas, le temps de propagation pourra donc être négligé devant le temps de transmission.

#### 4.4.3 Partage d'une ligne

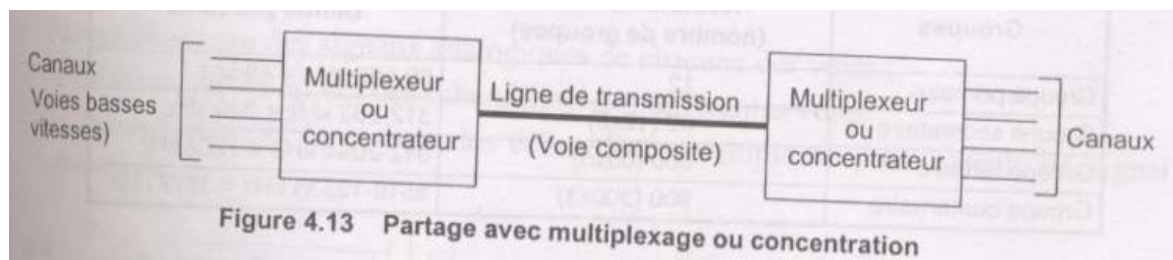
Lorsque plusieurs liaisons de données sont nécessaires entre deux sites, il est généralement plus économique d'utiliser une seule ligne partagée sur laquelle seront transmis les messages des différents équipements plutôt que de réaliser autant de liaisons point à point (figure 4.13).

Le partage peut être réalisé suivant deux types d'allocation (conditions de partage) :

- l'allocation statique lorsqu'une fraction de la capacité de transmissions de la ligne est mise de façon permanente à la disposition de chaque voie ou canal de transmission ;
- l'allocation dynamique lorsque les durées d'allocation sont variables suivant le trafic de chaque voie.

Le partage statique met en œuvre des équipements de type multiplexeur. Le multiplexage peut être fréquentiel, temporel ou statistique.

Le partage dynamique peut être réalisé à partir d'équipements spécialisés de type concentrateurs pour des liaisons point à point (pour des liaisons multipoints, les caractéristiques de ce mode de partage sont décrites dans les chapitres suivants). Le concentrateur intègre de plus une logique programmée permettant la gestion des protocoles de communication de niveaux supérieurs.

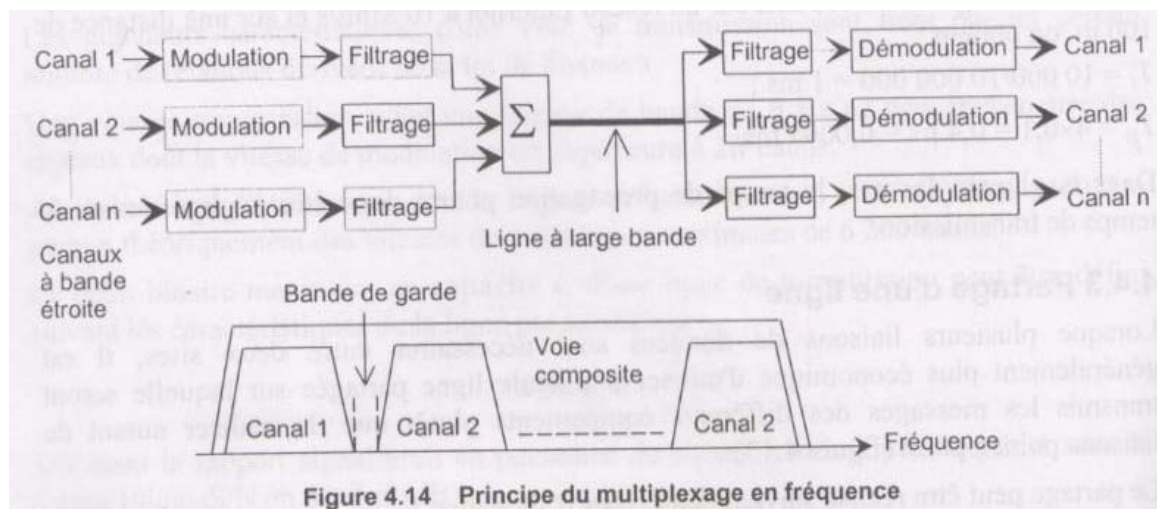


##### a) Multiplexage fréquentiel

Le multiplexage en fréquence, encore nommé **MRF** (Multiplexage par Répartition en Fréquence) ou FDM (*Frequency Division Multiplexing*) consiste à diviser la bande passante de la ligne en sous-bandes ou canaux à l'aide de filtres passe-bande, chaque circuit de données correspond alors à un canal (figure 4.14).

La modulation associée permet de positionner chaque canal dans la bande passante de la ligne. En pratique, pour limiter les interférences, une bande de garde est nécessaire entre chaque bande de fréquence des différents canaux.

Ce type de multiplexage est généralement utilisé pour la transmission de signaux analogiques par câble, par voie hertzienne ou par satellite dans des applications de type téléphonique, radiodiffusion et télévision.





Le réseau téléphonique fonctionne en partie sur ce modèle : un certain nombre de voies sont multiplexées sur un support de transmission à la large bande. Ces circuits large bande sont appelés circuits MRF (Multiplex à Répartition de Fréquence) et correspondent à des liaisons interurbaines ou longue distance (tableau 4.4).

Une structure hiérarchique est ainsi définie suivant les distances et le nombre de voies regroupées :

- les groupes primaires rassemblent douze voies de 4 kHz dans la bande 60-108 kHz ;
- les groupes secondaires rassemblent cinq groupes primaires dans la bande 60-108 kHz...

**Tableau 4.4 Multiplexage hiérarchique du RTC**

Groupes	Nombre de voies (nombre de groupes)	Bande passante
Groupe primaire	12	60-108 kHz = 48 kHz
Groupe secondaire	60 (12x5)	312-552 kHz = 240 kHz
Groupe tertiaire	300 (60x5)	812-2044 kHz = 1232 kHz
Groupe quaternaire	900 (300x3)	8516-12338 kHz = 3872 kHz

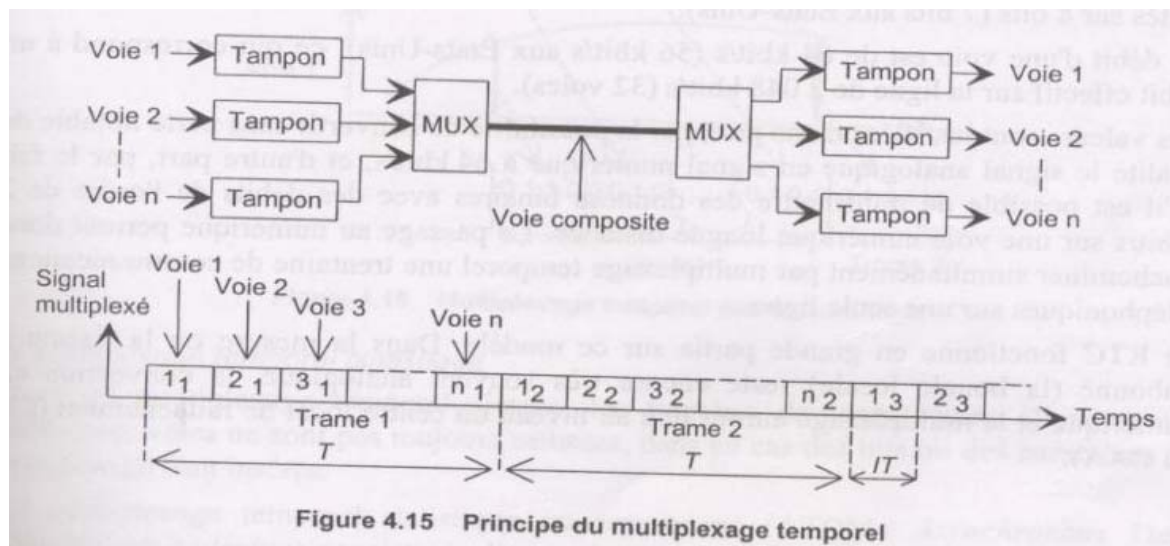
### b) multiplexage temporel

Dans un multiplexage temporel, encore nommé **MRT** (Multiplexage à Répartition dans le Temps) ou TDM (*Time Division Multiplexing*), l'allocation complète de la ligne aux différentes voies est effectuée périodiquement et pendant des intervalles de temps constants. Ce type de multiplexage est réservé aux signaux numériques. Les éléments des messages de chaque voie sont mémorisés sous forme de bits ou de caractères (multiplexage par bit ou par caractères) dans des mémoires tampon, puis transmis séquentiellement sur la voie composite. Les éléments sont ainsi assemblés pour former des trames multiplexées (figure 4.15).

La vitesse de transmission des voies bas débit ( $d$ ) est fonction de la vitesse de transmission de la ligne ( $D$ ) et du nombre de voies  $n$ . La période  $T$  des trames est fonction du nombre de voies et de l'intervalle de temps élémentaire  $IT$ .

$$d = D/n ; T = n * IT$$

Ce type de multiplexage est particulièrement adapté aux transmissions asynchrones dans la mesure où les deux extrémités basse vitesse ne sont pas synchronisées.



### > Multiplexage MIC

Le multiplexage temporel est également utilisé pour la transmission de la voix sur liaison téléphonique. Ce système de multiplexage est appelé **MIC** (Modulation par Impulsions Codées) ou **PCM** (*Pulse Code Modulation*) et comporte trois fonctions principales (figure 4.16) :

- l'échantillonnage des signaux analogiques de chacune des voies ;
- le multiplexage temporel des échantillons des différentes voies ;
- la quantification et le codage des échantillons multiplexés pour obtenir un signal numérique.

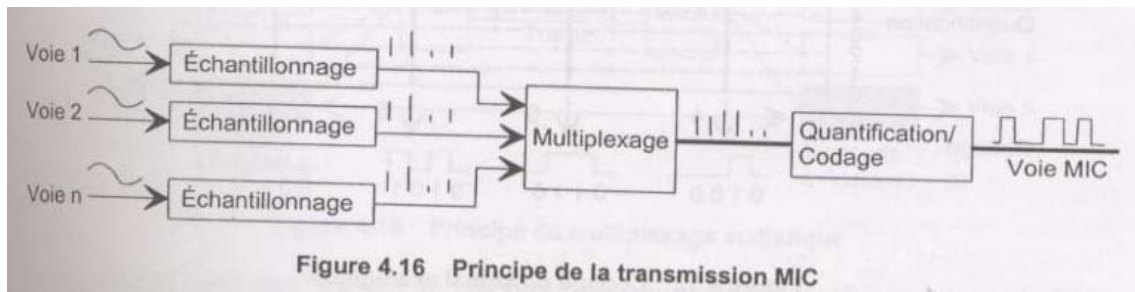


Figure 4.16 Principe de la transmission MIC

L'ensemble du dispositif qui effectue la conversion numérique-analogique sur la ligne est appelé CODEC (Codeur DEcodeur).

La figure 4.17 décrit le principe d'un codage sur 4 bits des échantillons d'une des voies, le codage est en fait réalisé sur une seule ligne après multiplexage des voies.

La figure 4.18 décrit le principe du multiplexage des échantillons qui sont ensuite codés pour former un ensemble de trames multiplexées.

La transmission MIC de base est définie pour un ensemble de trente voies (plus deux voies de synchronisation et de signalisation). L'échantillonnage est réalisé avec une fréquence de 8 kHz (période de 125  $\mu$ s). Les échantillons multiplexés dans le temps sont codés sur 8 bits (7 bits aux Etats-Unis).

Le débit d'une voie est de 64 kbit/s (56 kbit/s aux Etats-Unis), ce qui correspond à un débit effectif sur la ligne de 2 048 kbit/s (32 voies).

Ces valeurs sont justifiées d'une part, par la possibilité de convertir sans perte notable de qualité le signal analogique en signal numérique à 64 kbit/s, et d'autre part, par le fait qu'il est possible de transmettre des données binaires avec des débits de l'ordre de 2 Mbit/s sur une voie numérique longue distance. Le passage au numérique permet donc d'acheminer simultanément par multiplexage temporel une trentaine de communications téléphoniques sur une seule ligne.

Le RTC fonctionne en grande partie sur ce modèle. Dans la mesure où la liaison à l'abonné (la boucle locale) reste encore très souvent analogique, la conversion en numérique et le multiplexage auront lieu au niveau du centre local de rattachement (CL ou CAA).

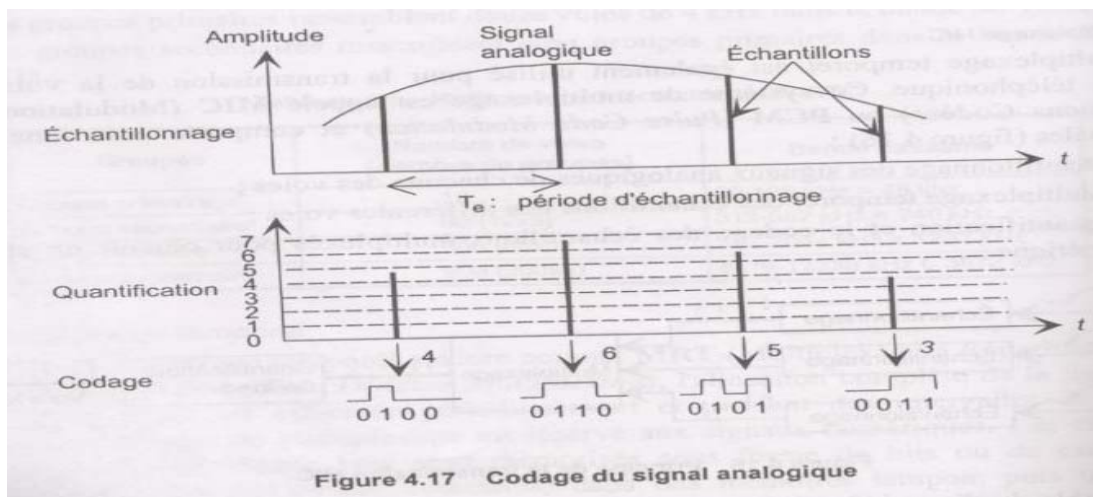


Figure 4.17 Codage du signal analogique

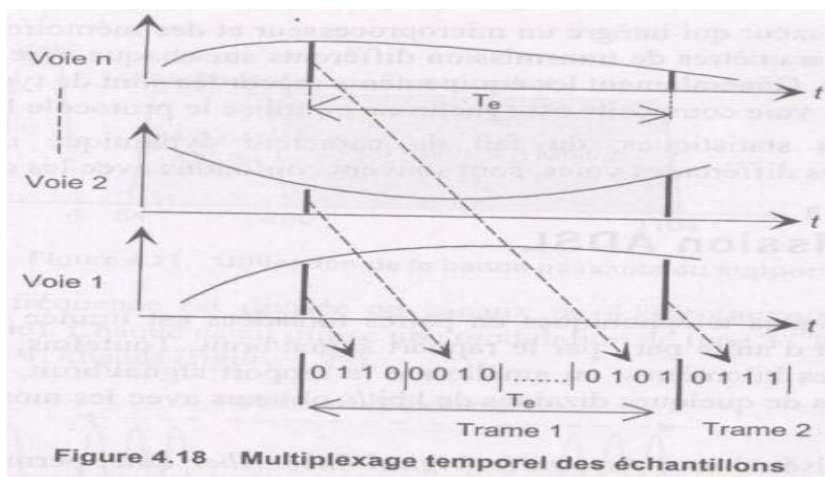


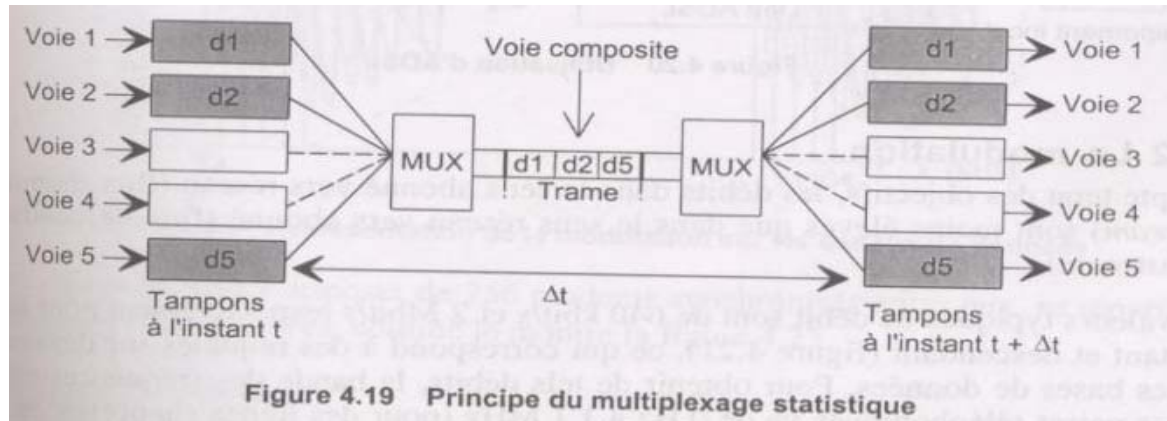
Figure 4.18 Multiplexage temporel des échantillons

### c) Multiplexage temporel statistique

Dans un multiplexage temporel simple, les tranches de temps fixes allouées aux différentes voies ne sont pas toujours utilisées, dans ce cas des bits ou des caractères de remplissages sont insérés.

Le multiplexage temporel statistique ou asynchrone (ATDM : *Asynchronous Time Division Multiplexing*) consiste à allouer dynamiquement des tranches de temps aux seules voies qui ont des données à transmettre à un instant donné.

Le multiplexeur a donc pour rôle de détecter les tampons non vides, de prélever les données mémorisées, de supprimer les bits non significatifs dans le cas d'une transmission asynchrone (start, stop, parité), de comprimer éventuellement les données et de les insérer dans les trames de la voie composite (figure 4.19).



Ce type de multiplexage permet de raccorder plusieurs équipements sur une seule ligne, même si le débit cumulé de chaque voie est supérieur au débit maximum de la ligne (cas des terminaux de saisie par exemple).

De plus, le multiplexeur qui intègre un microprocesseur et des mémoires tampon permet des débits et des paramètres de transmission différents sur chaque voie ou sous-canal et à chaque extrémité. Généralement les équipements raccordés sont de type asynchrone, la transmission sur la voie composite est synchrone et utilise le protocole HDLC.

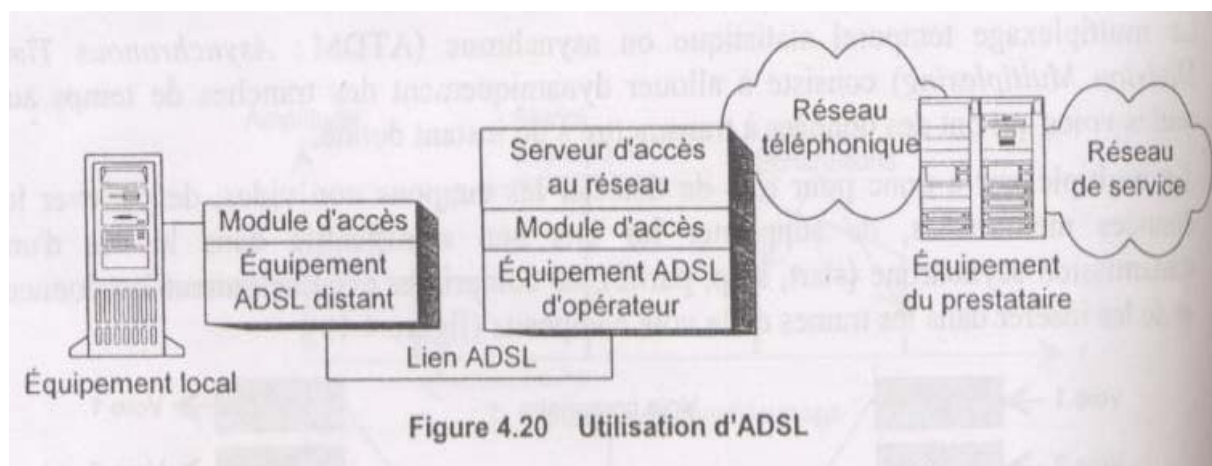
Les multiplexeurs statistiques, du fait du caractère dynamique de la répartition temporelle entre les différentes voies, sont souvent confondus avec les concentrateurs.

## 4.5 TRANSMISSION ADSL

### 4.5.1 Principe

La capacité des lignes téléphoniques en paires torsadées est limitée d'une part par la bande passante, et d'autre part, par le rapport signal/bruit. Toutefois, sur des distances limitées à quelques kilomètres, en améliorant le rapport signal/bruit, il est possible de dépasser les débits de quelques dizaines de kbit/s obtenus avec les modulations étudiées au paragraphe 4.2.

La technique utilisée dans l'*Asymmetric Digital Subscriber Line*, permet d'atteindre des débits de plusieurs Mbit/s sur des distances inférieures à 5 km. Cette solution est mise en œuvre pour permettre, entre autres, aux abonnés du RTC d'accéder à Internet à des débits élevés, par l'intermédiaire d'un prestataire de service. Elle est destinée, à terme, à remplacer les modems classiques et le minitel (figure 4.20). Elle permet de plus, d'assurer une communication téléphonique simultanément aux transferts de données.

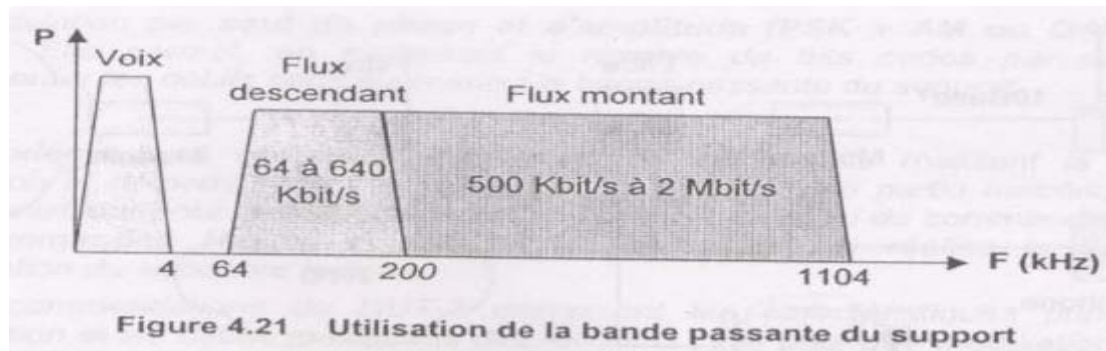




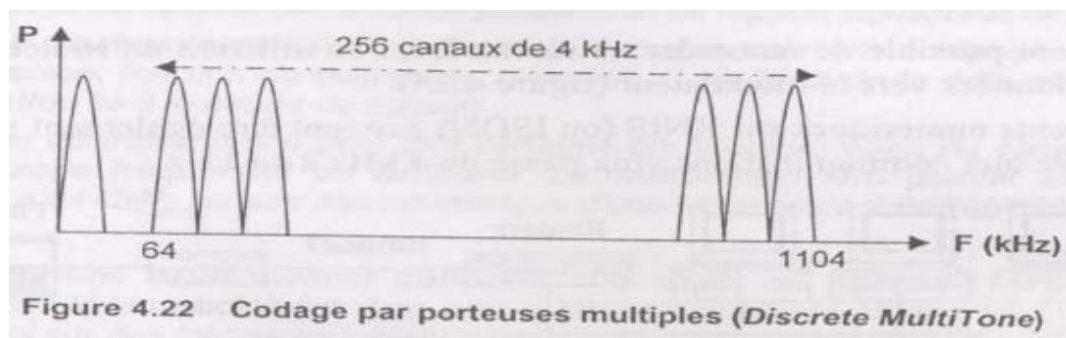
### 4.5.2 La modulation

Compte tenu des objectifs, les débits dans le sens abonné vers réseau (flux montant ou *upstream*) sont moins élevés que dans le sens réseau vers abonné (flux descendant ou *downstream*).

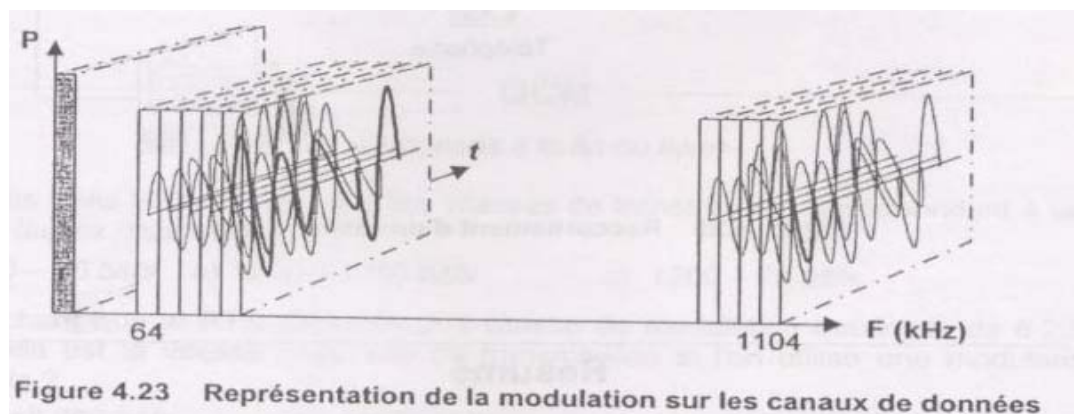
Les valeurs typiques de débit sont de 640 kbit/s et 2 Mbit/s respectivement pour les flux montant et descendant (figure 4.21), ce qui correspond à des requêtes sur des serveurs ou des bases de données. Pour obtenir de tels débits, la bande des fréquences utilisées sur les paires téléphoniques va de 0 Hz à 1,1 MHz (pour des lignes supportant de telles fréquences sur des distances courtes). La bande de 0 Hz à 4 kHz est réservée aux communications de type voix analogique. La bande de 64 kHz à 1,1 MHz est utilisée pour la transmission des données en deux bandes distinctes, une pour chaque flux.



Cette bande de fréquence est divisée en canaux de 4 kHz (auxquels s'ajoutent des canaux de contrôle). Chaque canal utilise une modulation de type TCM avec une vitesse de modulation de 4 kbauds (figure 4.22)



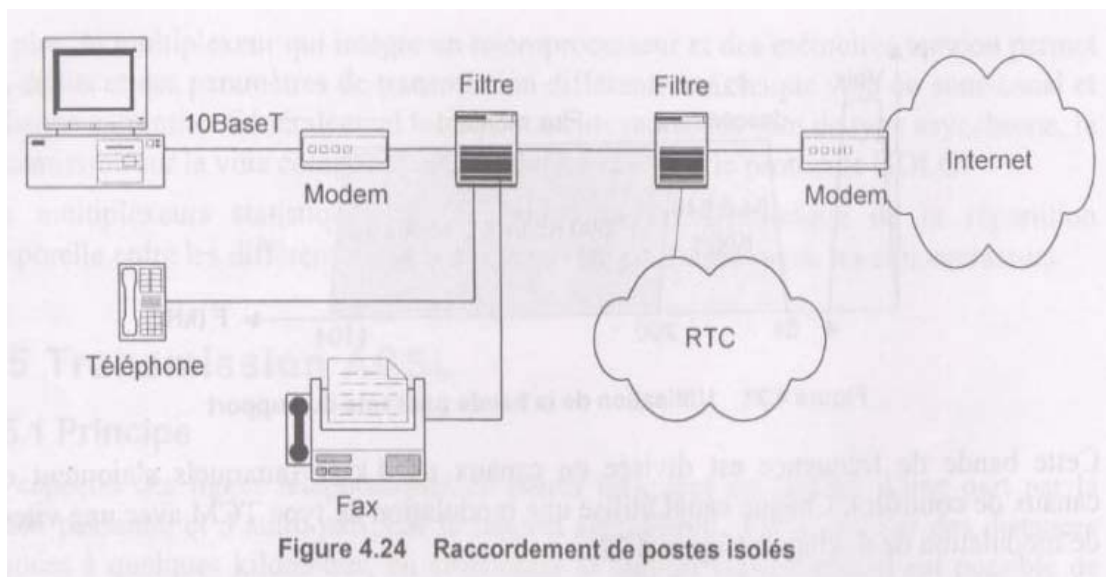
Débit total = (nombre de canaux) \* (nombre de bits/intervalle de modulation) \* (vitesse de modulation)



Cette solution revient à disposer de 256 modems synchronisés entre eux, se répartissant la transmission des données, comme le montre la figure 4.23.

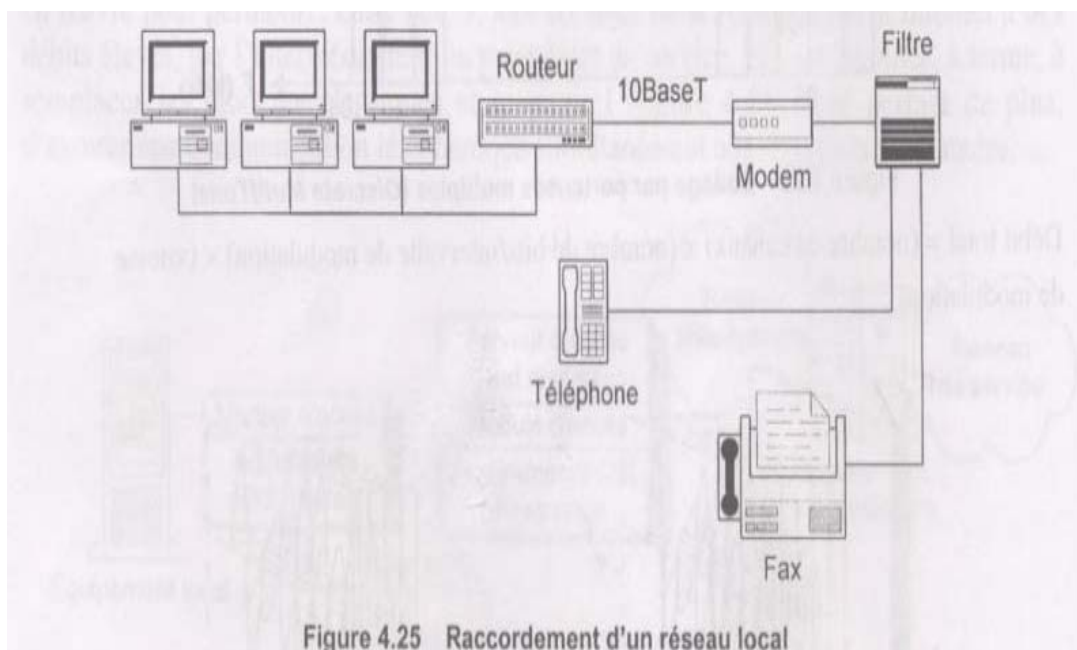
### 4.5.3 Raccordement

Les équipements de raccordements se composent d'un filtre (POTS : *Plain Old Telephone System*) permettant de filtrer les signaux voix, et d'un modulateur. La liaison entre l'ordinateur et le modulateur se fait le plus souvent en Ethernet 10BaseT (voir chapitre 6) pour assurer les débits nécessaires (figure 4.24).



Il est également possible de raccorder un réseau local en utilisant un routeur assurant le passage des données vers le modulateur (figure 4.25).

Les équipements numériques sur RNIS (ou ISDN) peuvent être également raccordés. La bande réservée aux communications voix passe de 4 kHz à 64 kHz.



### Résumé

- Pour de faibles distances (inférieures au km), la transmission du signal numérique peut se faire en **bande de base**, sans transposition de fréquence. Le signal reste numérique et des débits importants peuvent être atteints (100 Mbit/s).

*Pour assurer une meilleure synchronisation et limiter l'affaiblissement, un codage en bande de base est appliqué au signal binaire (codage NRZ, Manchester, biphase, Miller).*

- Pour des distances plus importantes, les performances du support imposent généralement une transformation du signal numérique en un signal analogique par **modulation**.

La modulation par **saut de phase et d'amplitude (PSK + AM ou QAM)** est la plus utilisée. Elle permet, en multipliant le nombre de bits codés par état de phase, d'augmenter les débits sans augmenter la bande passante du support.

- Les **modems** sont composés d'un ensemble de circuits réalisant la modulation à l'émission et démodulation à la réception. Ils intègrent une partie numérique à base de microcontrôleur pour le dialogue avec l'ETTD suivant un jeu de commandes normalisées, les **commandes Hayes**, et une partie analogique qui réalise la transmission et l'adaptation du signal sur la ligne.

Les recommandations de l'UIT-T définissent les caractéristiques principales de la modulation et les débits maximums des modems (V34 pour une modulation TCM sur une porteuse à 3 750 Hz avec un débit de 28,8 kbit/s par exemple).

- La voie de transmission est caractérisée par son débit maximum ou **capacité** exprimée en bit/s. Celle-ci est fonction de la bande passante et du rapport signal/bruit de la ligne.

Le **décalage d'acheminement** d'un message sur une voie est composé du **temps de transmission**, fonction du volume du message et du débit de la voie, et du **temps de propagation** lié à la nature du support.

Une ligne de transmission peut être partagée en plusieurs voies ou canaux suivant un **multiplexage fréquentiel ou temporel**. Le multiplexage MIC permet ainsi de passer 32 voies à 64 kbit/s sur une ligne numérique d'une capacité de 2 048 kbit/s.

- La transmission **ADSL** permet d'atteindre des débits de plusieurs Mégabit/s sur des distances inférieures à 5 km. Les paires téléphoniques classiques sont, dans ce cas, exploitées sur des fréquences allant jusqu'à 1 Mhz avec les techniques de modulation et de partage étudiées précédemment.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1. Dans l'avis V23, quelles sont les vitesses de transmission correspondant à une liaison full duplex dissymétrique ?  
a) 600 – 75 bit/s    b) 1200 – 1200 bit/s    c) 1200 – 75 bit/s
- Q2. Sachant que le RTC présente une vitesse de modulation maximale de 6 200 bauds, quelle est la vitesse maximale de transmission si l'on utilise une modulation à huit états ?  
a) 18 600 bit/s    b) 28 800 bit/s    c) 49 600 bit/s
- Q3. Pour un signal modulé suivant la recommandation V34 l'UIT-T, quelles sont les vitesses de transmission et de modulation possibles en full duplex ?  
a) 28800 bit/s et 2400 bauds    b) 33600 bit/s et 2400 bauds    c) 33600 bit/s et 3200 bauds    d) 28800 bit/s et 3200 bauds
- Q4. Combien de liaisons V22 peut-on réaliser sur une ligne dont la bande passante est de 60-108 kHz si l'on utilise un multiplexage fréquentiel ?  
a) 48    b) 12    c) 24    d) 20



- Q5.** Combien de voies basse vitesse à 300 bit/s peut-on multiplexer (multiplexage temporel) sur une voie haute vitesse à 4 800 bit/s ?  
 a) 12                      b) 16                      c) 8
- Q6.** Pour une transmission MIC sur une ligne à 2 048 kbit/s, quel est le débit de chaque voie ?  
 a) 64 kbit/s              b) 8 kbit/s              c) 32 kbit/s              d) 2048 bit/s

**Exercices** (☺ : facile    ☺☺ : moyen    ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

- ☺ En l'absence de transmission, le niveau binaire est en permanence à « 1 », coder ce signal en code Manchester, en code biphase et en code Miller. Expliquer l'intérêt de ces codages pour le récepteur.
- ☺☺ Parmi les différents codages, quel est celui présentant le plus large spectre de fréquence, le spectre le plus étroit. Quel est l'intérêt de réduire le spectre de fréquence.
- ☺☺ Dans une liaison V22, suivant la voie utilisée (porteuse à 1 200 Hz ou à 2 400 Hz) combien peut-on compter de périodes sur le signal modulé par intervalle de modulation ? Etablir un chronogramme du signal binaire et du signal modulé.
- ☺ Calculer la capacité d'une ligne dont la bande passante est de 100-275 kHz et pour un rapport signal sur bruit évalué à 17 dB.
- ☺ Calculer le temps de transmission et le temps de propagation d'un fichier de 20 Ko sur un réseau Ethernet à 10 Mbit/s et pour des distances de 10 m, 100 m et 1 km .
- ☺ Pour une transmission MIC à 2 048 kbit/s, calculer la période d'échantillonnage, la durée d'émission d'une trame, le nombre de bits par trames et la durée d'un intervalle de temps élémentaire .
- ☺☺☺ Quatre terminaux asynchrones sont connectés à un multiplexeur statistique permettant des débits composites maximums de 19 200 bit/s et intégrant des tampons d'un format de 8 bits. Les débits des terminaux sont respectivement de 9 600 bit/s, 4 800 bit/s, 4 800 bit/s, 4 800 bit/s. Calculer le débit effectif sur la voie composite et la durée d'une trame dans les différents cas si seulement trois terminaux sont actifs simultanément. Conclusion ?
- ☺☺ On désire transmettre un son HI-FI stéréophonique de bande passante 20 Hz-20 kHz.
  - Peut-on transmettre ce signal tel quel sur le réseau téléphonique commuté (RTC) ? Justifier votre réponse.
  - On numérise ce signal par un échantillonnage à 44 kHz. On obtient alors pour chaque voie 8 bits à émettre toutes les 22,7  $\mu$ s. Quel est le débit nécessaire ?
  - Ce débit est-il compatible avec les débits des modems actuels ? Expliquer brièvement la difficulté d'augmenter le débit des modems .
- ☺☺☺ On veut transmettre un fichier binaire de 1 Mo à un débit de 9 600 bit/s, sur le réseau téléphonique commuté.

- a) Quels sont les problèmes posés par la transmission de tels signaux binaires sur une paire téléphonique du RTC.
  - b) Proposer une modulation permettant de transmettre correctement le signal binaire.
  - c) Quelle est la vitesse de modulation du signal transmis ? En déduire le temps dont dispose le modem récepteur pour déterminer les caractéristiques (fréquence, amplitude et phase) du signal reçu.
  - d) On utilise un protocole Y-modem. Calculer le nombre d'octets échangés entre les deux ordinateurs au cours de la transmission.
  - e) Calculer le temps nécessaire à la transmission de ce fichier.
10. On veut utiliser la bande 64 kHz - 200 kHz pour assurer un débit de 544 kbit/s sur le flux montant d'un modem ADSL. Combien faut-il transmettre de bits par intervalle de modulation ?
  11. Indiquer les codes Hayes à transmettre au modem pour le programmer sur un mode V34, puis pour lui demander d'appeler le numéro 0955552222 à l'aide d'un codage fréquentiel ?

## Étude de cas : les serveurs d'accès distant

Ils sont utilisés pour connecter, à travers un réseau commuté, des ordinateurs isolés (postes distants), à un serveur (ou des serveurs en réseaux). Cette architecture est employée pour connecter des collaborateurs éloignés, les centres de télétravail ou les abonnés d'un prestataire de service (figure 4.26). Elle permet les échanges de fichiers, la consultation de messagerie ou de base de données, l'accès à Internet.

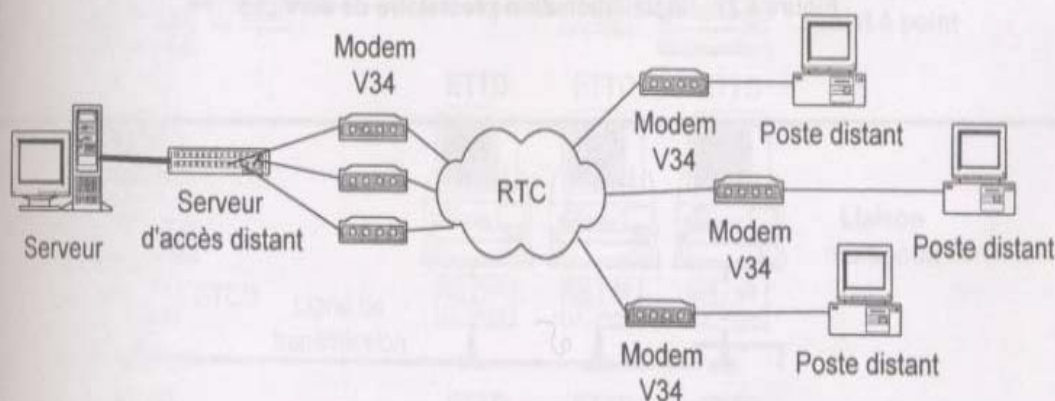


Figure 4.26 Connexion de postes distants

Le serveur d'accès distant a pour rôle de :

- gérer les connexions avec chaque poste distant ;
- gérer les connexions avec le serveur ;
- traiter les données pour quelles puissent être transmises sur chacun des deux types de liaison (liaison point à point sur le RTC, liaison partagée entre le serveur et le serveur d'accès distant).

## Chapitre 4

### QCM

Q1  
c)

Q2  
a)

Q3  
d)

Q4  
d)

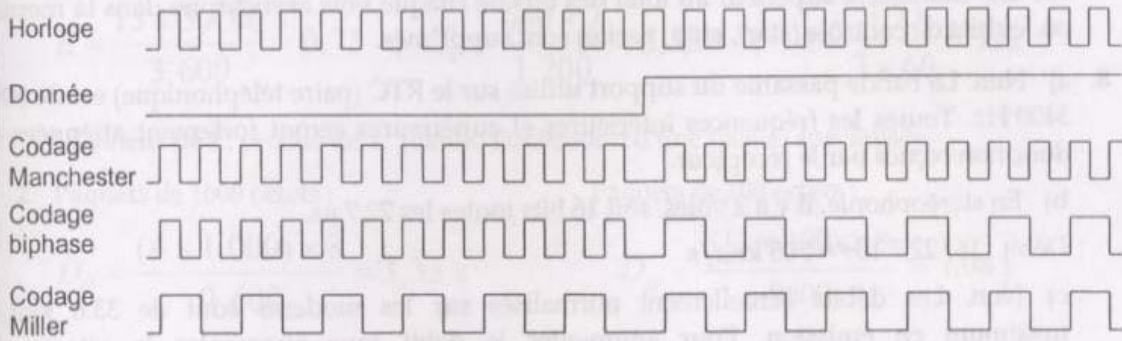
Q5  
b)

Q6  
a)

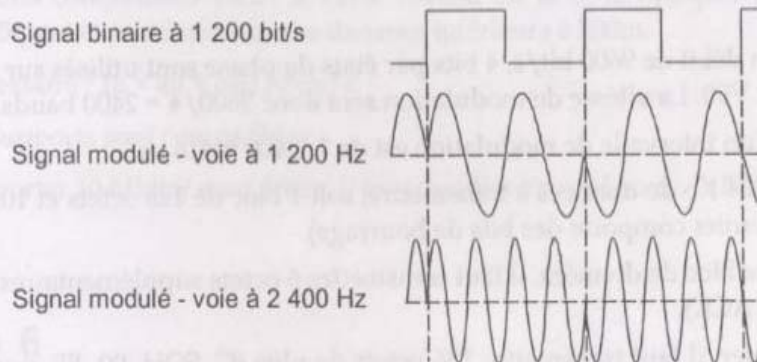


## Exercices

1.



2. Le codage de Miller présente un spectre étroit donc moins exposé aux perturbations. Le codage Manchester à un spectre plus large mais sur des fréquences plus élevées donc moins affaiblies sur la ligne.
3. Un intervalle de modulation dure 2 bits dans une liaison V22 à 1 200 bit/s (modulation de dibits). Il y aura donc deux périodes dans un intervalle de modulation pour la voie à 1 200 Hz et quatre périodes pour la voie à 2 400 Hz.



4.  $C = 175 \cdot 10^3 \log_2(1 + 10^{1,7}) = 993 \text{ kbit/s}$ .

5.  $T_i = 20 \times 1024 \times \frac{8}{10^7} = 16,4 \text{ ms}$

$T_p = 4 \mu\text{s}$  pour 1 km ;  $T_p = 0,4 \mu\text{s}$  pour 100 m ;  $T_p = 0,04 \mu\text{s}$  pour 10 m.

6. La période d'échantillonnage est de  $1/8 \cdot 10^3 = 125 \mu\text{s}$ . Le temps de transmission d'une trame correspond au temps nécessaire pour multiplexer les échantillons de toutes les voies, soit  $125 \mu\text{s}$ . Le nombre de bits par trame est de  $32 \times 8 = 256$  bits ( $2048 \cdot 10^3 \times 125 \cdot 10^{-6}$ ). La durée de l'intervalle de temps  $IT$  correspond au temps nécessaire pour transmettre les 8 bits d'un échantillon soit  $125 \mu\text{s}/32 = 3,9 \mu\text{s}$ .

7. Suivant les débits des terminaux actifs, deux calculs peuvent être effectués :

$$d = 3 \times 4800 = 14400 \text{ bit/s et } T_c = \frac{3 \times 8}{3 \times 4800} = 1,67 \text{ ms}$$

$$d = 2 \times 4800 + 9600 = 19200 \text{ bit/s et } T_c = \frac{3 \times 8}{2 \times 4800 \times 9600} = 1,25 \text{ ms}$$

Pour le deuxième cas, le débit calculé est juste égal au débit composite maximum du multiplexeur. Si la voie composite est synchrone, le nombre de bits pouvant être transmis sur une trame sera supérieur au total des bits de chaque voie asynchrone dans la mesure où les bits de contrôle (start, stop, parité) sont supprimés.

8. a) Non. La bande passante du support utilisé sur le RTC (paire téléphonique) est de 300-3400 Hz. Toutes les fréquences inférieures et supérieures seront fortement atténuées et donc non reçues par le récepteur.

b) En stéréophonie, il y a 2 voies, soit 16 bits toutes les 22,7  $\mu$ s.

Débit :  $16/22,7 \cdot 10^{-6} = 705$  kbit/s

c) Non. Les débits actuellement normalisés sur les modems sont de 33.6 kbit/s maximum en émission. Pour augmenter le débit sans augmenter la vitesse de modulation, il faut augmenter la sensibilité de la fonction réceptrice des modems et par conséquent l'influence relative du bruit.

9. a) Transmettre un signal binaire à 9600 bit/s revient à transmettre des signaux sinusoïdaux à des fréquences dont la plus faible (fondamentale de fréquence 4800 Hz) est au-delà de la bande passante du support (300-3400Hz). Toutes les composantes seront donc fortement atténuées, ce qui interdit la transmission du signal binaire sans transposition de fréquence sur un réseau longue distance tel que le RTC.

b) Les modulations V32, V34 et V90 assurent une transmission asynchrone sur le RTC à 9600 bit/s

c) Pour un débit de 9600 bit/s, 4 bits par états de phase sont utilisés sur les modulations V32, V34 et V90. La vitesse de modulation sera donc  $9600/4 = 2400$  bauds.

La durée d'un intervalle de modulation est de  $1/2400 = 416$   $\mu$ s.

d) Il y a 1024 Ko de données à transmettre, soit 1 bloc de 128 octets et 1024 blocs de 1024 octets (le dernier comporte des bits de bourrage).

Pour chaque bloc de données, il faut transmettre 6 octets supplémentaires (SOH, N, FF-N, CRC, CRC, ACK).

Pour le fichier, il faut transmettre 136 octets de plus (C, SOH, 00, FF, nom du fichier sur 128 octets, CRC, CRC, ACK, EOT).

Soit un total de :  $128 + 1024 \times 1024 + 1025 \times 6 + 136 = 1055$  Ko

e)  $t = 1055 \cdot 10^3 \times 8/9600 = 879$  s soit 14 mn 39 s environ.

10. La bande allouée (64 kHz – 200 kHz) peut être divisée en 34 canaux de 4 kHz. Pour un débit total de 544 kbit/s, le nombre de bits par intervalle de modulation est de  $544000/(4000 \times 34)$ , soit 4 bits.

11. AT&N14 ou ATB20 puis ATDT0955552222.

## Chapitre 5

### Architecture des réseaux

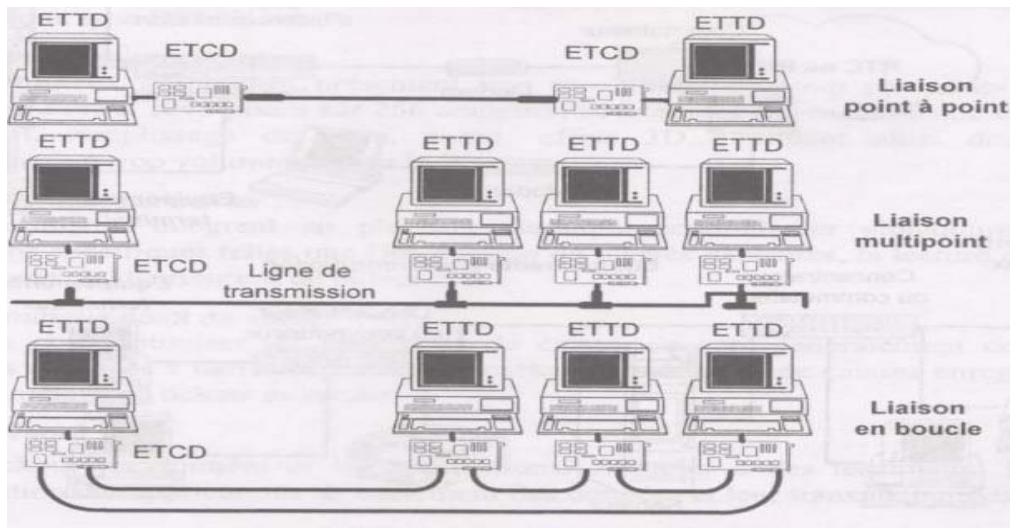
#### 5.1 LIAISONS DE DONNEES

Les liaisons et éléments associés faisant l'objet des normalisations décrites dans les chapitres précédents ne concernent que des transferts entre deux systèmes téléinformatiques distants, ce sont des **liaisons point à point**.

Pour ce type de liaison, le taux d'activité est généralement faible et le support physique sous-utilisé. Pour pallier cet inconvénient, une même ligne peut servir à la connexion de plusieurs systèmes, on parle de **liaison multipoint**. Ce type de liaison implique des techniques de raccordement et des méthodes de partage du support plus complexes.



La configuration multipoint peut être étendue à une liaison en boucle (figure 5.1).

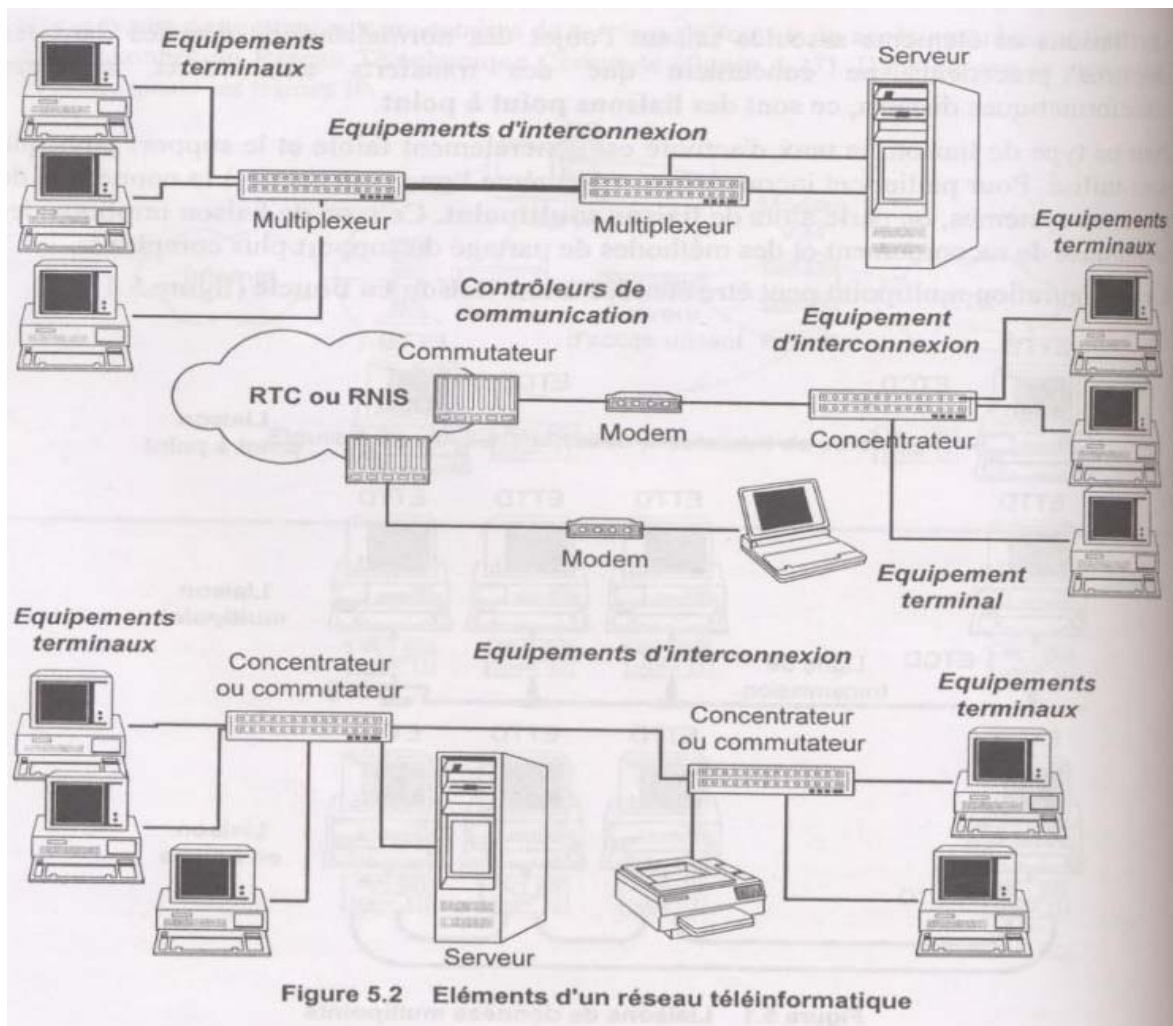


**Figure 5.1 Liaisons de données multipoints**

Sur une liaison multipoint la configuration peut varier entre deux situations extrêmes. Dans la configuration la plus simple, un seul système central (ou station primaire) donne le droit de transmettre à l'un des autres systèmes (ou stations secondaires). Toutes les données passent par le système central. La gestion est alors centralisée. A l'inverse, lorsque chaque station est susceptible d'être station primaire et donc de transmettre sur la liaison multipoint, la gestion est distribuée. Il faut alors définir quelle station va avoir le droit d'émettre sur le support. Ce sont les méthodes d'accès au support (ou protocoles de niveau 1). Ces méthodes d'accès au support par les stations (droit à émettre) sont décrites dans le chapitre sur les réseaux locaux (méthodes de compétition ou d'élection).

## 5.2 ELEMENTS D'UN RESEAU

Les éléments constitutifs d'un réseau local ou public peuvent être regroupés en 3 familles : les équipements terminaux, les équipements d'interconnexion, les contrôleurs de communication.



**Figure 5.2 Eléments d'un réseau téléinformatique**



Les éléments sont reliés entre eux par des lignes de transmission faible ou longue distance de type point à point ou multipoint.

La différence au niveau des lignes de transmission entre réseau local et réseau public, outre les valeurs caractéristiques des distances et des débits, se situe dans la nature des liaisons :

- dans un réseau local, les liaisons entre éléments sont généralement permanentes ;
- dans un réseau public, les liaisons entre éléments sont limitées à la durée des communications et utilisent des circuits de type commutés (voir paragraphe 3).

La figure 5.2 présente quelques exemples de réseaux faisant intervenir des éléments d'interconnexions. Les terminaux, les ordinateurs centraux ou serveurs symbolisent les ressources principales du réseau.

### 5.2.1 Equipements terminaux

La fonction principale d'un équipement terminal est de permettre à l'utilisateur d'accéder aux ressources du réseau téléinformatique. La famille des terminaux comprend les terminaux, les ordinateurs (souvent appelées *stations*) et les serveurs. Les terminaux sont reliés à un serveur sur lequel s'exécute l'application de traitement des données. Il permet d'afficher les résultats. On peut distinguer plusieurs types de terminaux.

#### a) Terminaux clavier-écran

Le terminal standard d'un réseau téléinformatique est composé d'un clavier alphanumérique et d'un écran fonctionnant en mode texte et éventuellement en mode graphique. Ils appliquent des normes spécifiques dont les plus classiques sont ANSI, VT52, VT100. Ces terminaux sont généralement reliés au réseau par une liaison série asynchrone type RS232.

#### b) Terminaux graphiques

Les terminaux graphiques présentent une résolution beaucoup plus importante (par exemple 2048 x 2048 pixels sur 256 couleurs) et intègrent des fonctions de dessin (tracé vectoriel, remplissage de zone, zoom, effets 3D...) évitant ainsi des transferts d'information trop volumineux sur la ligne.

#### c) Terminaux bancaires

Ces terminaux intègrent en plus du classique écran-clavier alphanumérique, des fonctions spécifiques telles que l'impression de relevés bancaires, la lecture de cartes ou de chèques, la distribution de billets...

#### d) Terminaux point de vente

Conçus pour optimiser les opérations de caisse, ils sont généralement composés de lecteurs de codes à barre, de lecteur de cartes magnétiques, de caisses enregistreuses et d'imprimantes de tickets de caisse.

#### e) Serveurs

Ils stockent les données et les applications. Associés à des terminaux, ils assurent l'exécution des applications de traitement des données et leur transmettent les résultats. Reliés à des ordinateurs, ils leur transmettront les fichiers et les applications qu'ils veulent exécuter. Dans le cas d'applications client-serveur, une partie de l'application s'exécutera sur l'ordinateur, une autre sur le serveur.

#### f) Ordinateurs

Les micro-ordinateurs intègrent une interface asynchrone permettant le transfert de fichiers en point à point ou l'émulation de terminal alphanumérique.

Par ajout d'un boîtier ou d'une carte modem, ils peuvent être connectés au réseau téléphonique. L'installation d'une interface réseau permet de les connecter à un type de réseaux. Ils peuvent alors échanger des données avec d'autres ordinateurs ou des serveurs. Ce sont des « **ordinateurs communicants** ».

#### g) Minitel

Le minitel est un terminal alphanumérique utilisant de plus des caractères semi-graphiques ; le modem et le contrôleur intégrés permettent une liaison de type V23 avec les différents services Téletel accessibles par le RTC.

### 5.2.2 Equipements d'interconnexion

Ils assurent les connexions nécessaires entre deux ou plusieurs équipements terminaux. Parmi les plus courants :

- Les **multiplexeurs** permettent le partage statique (allocation fixe et permanente) des ressources de la ligne entre les équipements terminaux qu'ils connectent.

Le multiplexage peut être fréquentiel si la ligne large bande est divisée en canaux à bande de fréquence étroite, temporel ou statistique si chaque élément occupe la ligne

successivement (voir chapitre 4).

- Les **concentrateurs** permettent un partage dynamique et adapté aux besoins ponctuels des éléments connectés. Leur principale fonction est donc de transmettre les informations de plusieurs terminaux sur une seule ligne haute vitesse.
- Les **commutateurs** établissent les liaisons entre les équipements terminaux, le temps de la transmission des données. A titre d'exemple, le terminal (combiné téléphonique) de chaque abonné du réseau téléphonique est raccordé à un commutateur de rattachement de l'opérateur de boucle locale. La liaison n'est établie que le temps de la communication. Les **commutateurs Ethernet** sont un cas particulier, ils permettent de regrouper sur un même segment, un même bus, les stations d'un réseau local liées par un trafic important.
- Les autres dispositifs d'interconnexion spécifiques aux réseaux locaux, tels les **MAU**, les **hubs**, les **ponts** ou les **routeurs** correspondent à des architectures et des protocoles particuliers et sont décrits dans les chapitres 6 et 7.

### 5.2.3 Contrôleurs de communication

Les contrôleurs de communication gèrent l'accès d'un équipement terminal à la ligne de transmission. Ils sont le plus souvent intégrés à l'ordinateur. Par contre, ces équipements sont spécifiques dans le cas de mini-ordinateurs ou de serveurs. Le processeur central est ainsi déchargé de la gestion des lignes qui est confiée à un processeur spécialisé.

#### a) Cartes d'interface série asynchrones ou synchrones

Ce sont les cartes équipant la plupart des micro-ordinateurs et les terminaux graphiques. Ils intègrent un ou plusieurs circuits d'interfaçage asynchrone ou synchrone (voir chapitre 3). Ces cartes permettent le raccordement de lignes conformes à l'avis V24 avec des débits de 300, à 57600 bit/s et éventuellement une gestion partielle de procédure synchrone de type HDLC ou autre.

#### b) Cartes d'interface réseau (carte coupleur)

Ces cartes peuvent équiper la plupart des micro-ordinateurs et permettent leur intégration dans un réseau local en gérant une partie du protocole.

Les cartes d'interface réseau sont spécifiques au réseau local utilisé (cartes Ethernet, cartes Token Ring...) et au type de micro-ordinateur (MAC, station UNIX, PC avec bus EISA ou PCI...).

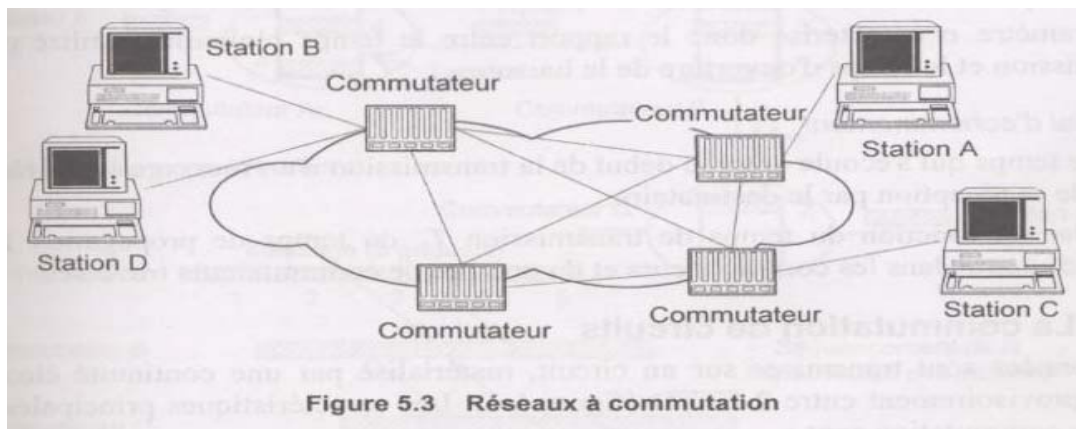
#### c) Contrôleurs pour raccordement aux réseaux publics

Ce type de contrôleur dont l'architecture est comparable à celle d'un micro-ordinateur, permet la transmission des données entre deux sites à travers les circuits commutés du réseau public utilisé (réseau Transpac, RTC...) ; un contrôleur équivalent doit donc exister à l'autre extrémité. Ces contrôleurs gèrent une partie du protocole lié au réseau et intègrent des tampons permettant la mémorisation temporaire des trames ou des paquets (voir chapitre 8). Les modems font partie de cette catégorie.

#### d) Contrôleurs d'accès distant

Ils permettent de connecter un serveur à plusieurs terminaux simultanément, à travers le réseau téléphonique. Un exemple d'utilisation a été montré au chapitre 4.

## 5.3 RESEAUX A COMMUTATION



Les réseaux à commutation permettent à tout équipement informatique connecté de communiquer directement avec tout autre équipement à travers un réseau de type maillé (système ouvert).

Ce type de réseau, généralement public, est formé d'un ensemble d'ETTD (stations) interconnectés par des lignes de communication. Les liaisons sont gérées par des commutateurs ou nœuds de commutation chargés de trouver un chemin entre les stations communicantes et d'établir la liaison entre elles (figure 5.3). Ces

réseaux sont souvent opposés aux réseaux locaux dans lesquels les liaisons entre stations sont permanentes.

On distingue pour ces réseaux trois types de commutation :

- la commutation de circuits ;
- la commutation de paquets ou de messages ;
- la commutation de cellules.

Pour comparer ces trois types de commutation, il convient de définir les grandeurs utilisées pour caractériser le trafic téléinformatique.

#### a) Intensité du trafic ou du taux de connexion

L'intensité du trafic  $E$  exprimée en Erlangs est définie par la relation :  $E = N \times T / 3\,600$

$N$  est le nombre de sessions ou périodes de communication à l'heure.

$T$  est la durée moyenne en secondes des sessions.

Le taux de connexion  $E$  caractérise donc le volume du trafic mesuré pendant une période d'observation d'une heure. Pour des applications de type interactif,  $E$  sera proche de 1. Pour des applications de type messagerie ou transfert de fichiers, les valeurs de  $E$  seront relativement faibles.

#### b) Taux d'activité

Le taux d'activité  $\sigma$  exprimé en % est défini par la relation :  $\sigma = T_t / T$

$T_t$  est le temps de transmission et  $T$  la durée d'une session de communication.

Le paramètre  $\sigma$  caractérise donc le rapport entre le temps réellement utilisé pour la transmission et le temps d'ouverture de la liaison.

#### d) Délai d'acheminement

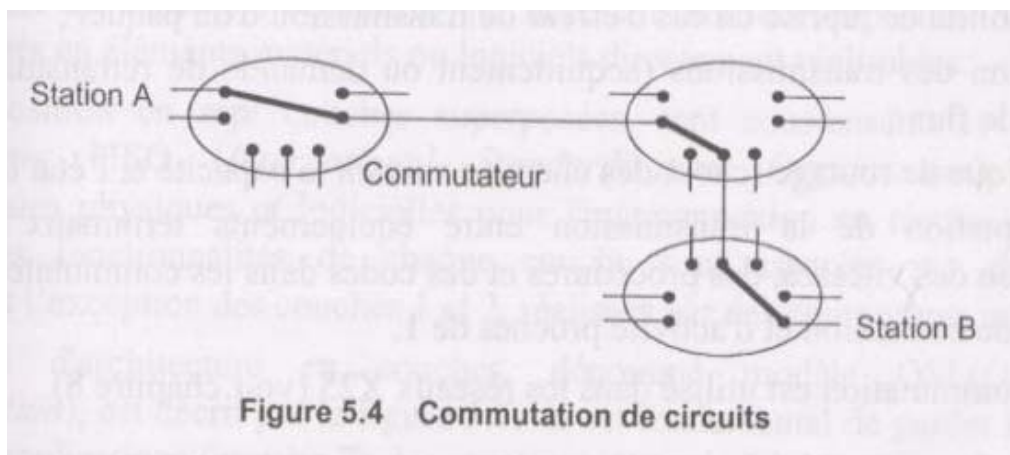
C'est le temps qui s'écoule entre le début de la transmission d'un message sur le réseau et la fin de sa réception par le destinataire.

Ce délai est fonction du temps de transmission  $T_t$ , du temps de propagation  $T_p$ , des temps d'attente dans les commutateurs et du nombre de commutateurs traversés.

### 5.3.1 La commutation de circuits

Les données sont transmises sur un circuit, matérialisé par une continuité électrique, établi provisoirement entre 2 ETTD (figure 5.4). Les caractéristiques principales de ce type de commutation sont :

- un temps d'établissement de la commutation constant et court ;
- des formats d'information libres ;
- pas de stockage des informations communiquées dans le réseau ;
- des taux de connexion et d'activité faibles.



La commutation de circuits est utilisée principalement sur les réseaux téléphoniques. Pour des communications grandes distances, la liaison est établie par une série de commutateurs hiérarchisés et situés dans les différents centres de transit (centres locaux, centres interurbains, centres nationaux - voir chapitre 8).

### 5.3.2 Commutation de paquets



Un message est découpé en paquets de longueur fixe. Les paquets sont transmis de commutateur en commutateur jusqu'à l'ETTD destinataire (figure 5.5). A leur arrivée dans un commutateur, chaque paquet est mémorisé dans des tampons alloués et transmis vers le commutateur suivant lorsqu'un tampon de celui-ci est disponible. Les tampons d'un commutateur peuvent donc contenir à un instant donné les paquets de différents messages.

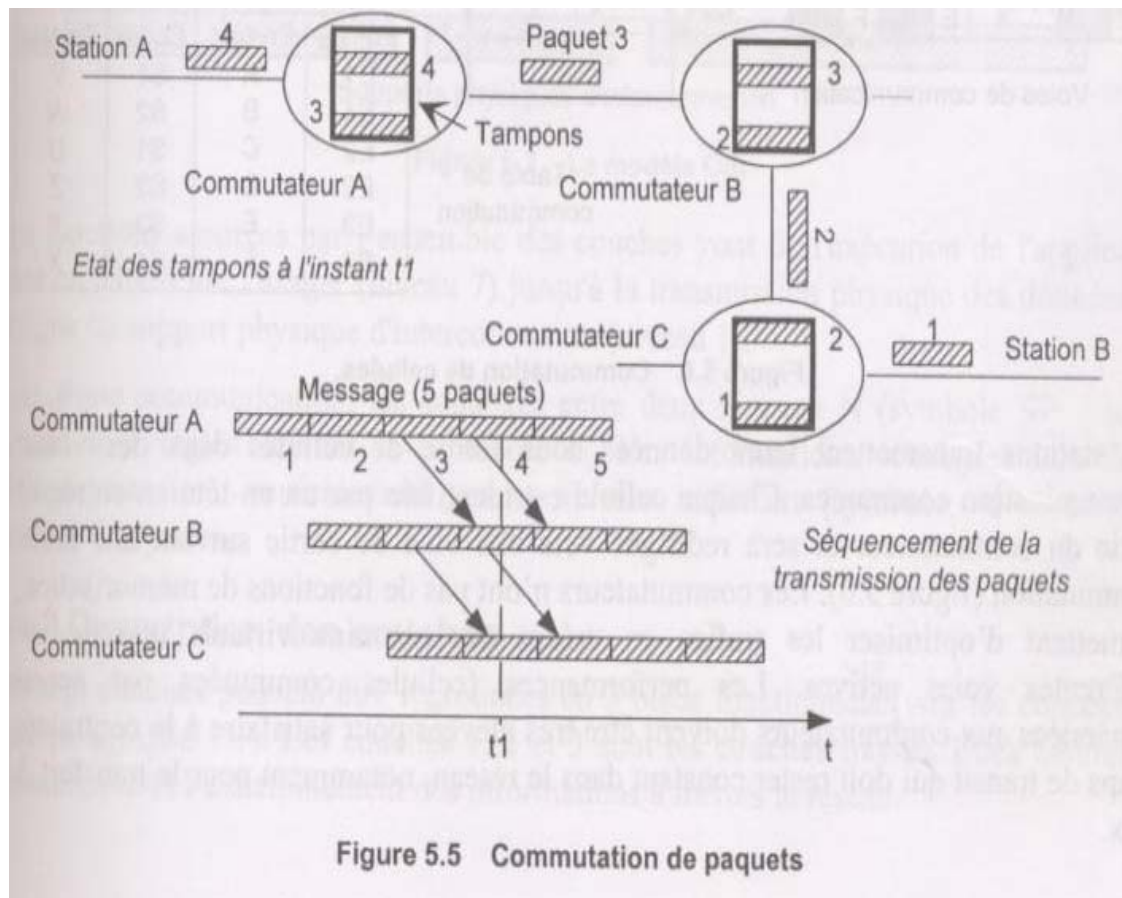


Figure 5.5 Commutation de paquets

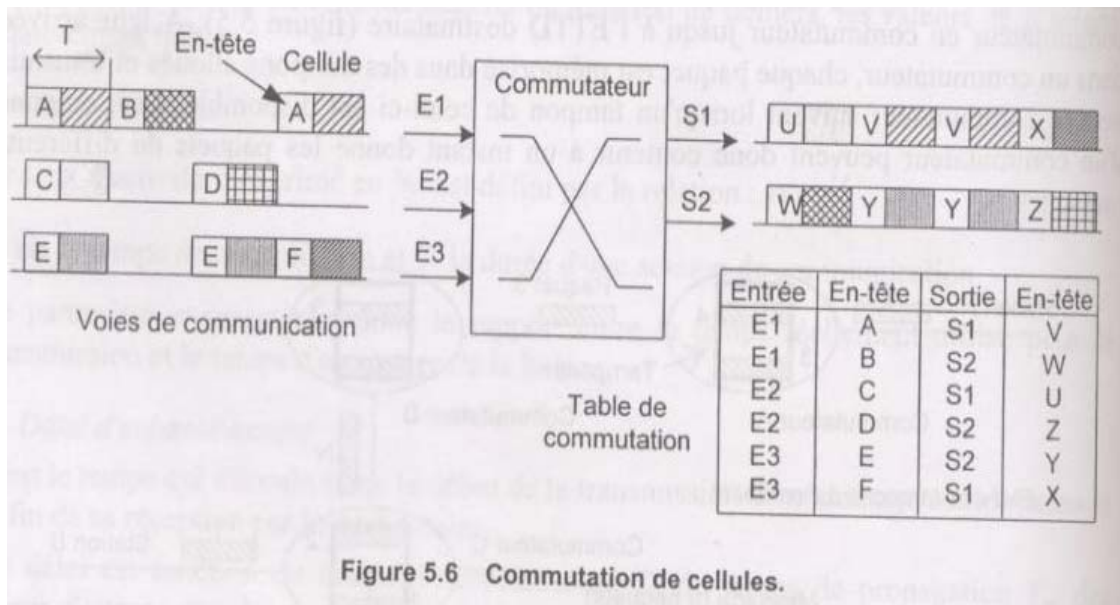
Les caractéristiques de la commutation de paquets sont :

- un multiplexage temporel des paquets de plusieurs messages dans les commutateurs (optimisation des commutateurs),
- une possibilité de reprise en cas d'erreur de transmission d'un paquet ;
- une gestion des transmissions (acquiescement ou demande de retransmission) et un contrôle de flux ;
- une politique de routage (choix des chemins suivant la capacité et l'état du réseau) ;
- une adaptation de la transmission entre équipements terminaux hétérogènes (adaptation des vitesses, des procédures et des codes dans les commutateurs) ;
- des taux de connexion et d'activité proches de 1.

Ce type de commutation est utilisé dans les réseaux X25 (voir chapitre 8).

### 5.3.3 Commutation de cellules

Dans la commutation de paquets, la taille de ceux-ci ne permet pas de prévoir le délai de transmission des informations, ce qui est incompatible avec le transport de la voix ou de la vidéo. Pour pallier cet inconvénient l'OSI a normalisé une technique de commutation de cellules de longueur constante, émises à intervalle de temps constant sur des voies de communication. Cette technique est principalement exploitée dans le réseau ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) qui doit à terme remplacer X25.



Les stations transmettent leurs données sous forme de cellules dans des voies de communication communes. Chaque cellule est identifiée par un en-tête en entrée et en sortie du commutateur et sera redirigée vers une voie de sortie suivant une table de commutation (figure 5.6). Les commutateurs n'ont pas de fonctions de mémorisation, ils permettent d'optimiser les trafics en créant des chemins virtuels regroupant les différentes voies actives. Les performances (cellules commutées par seconde) demandées aux commutateurs doivent être très élevées pour satisfaire à la contrainte du temps de transit qui doit rester constant dans le réseau, notamment pour le transfert de la voix.

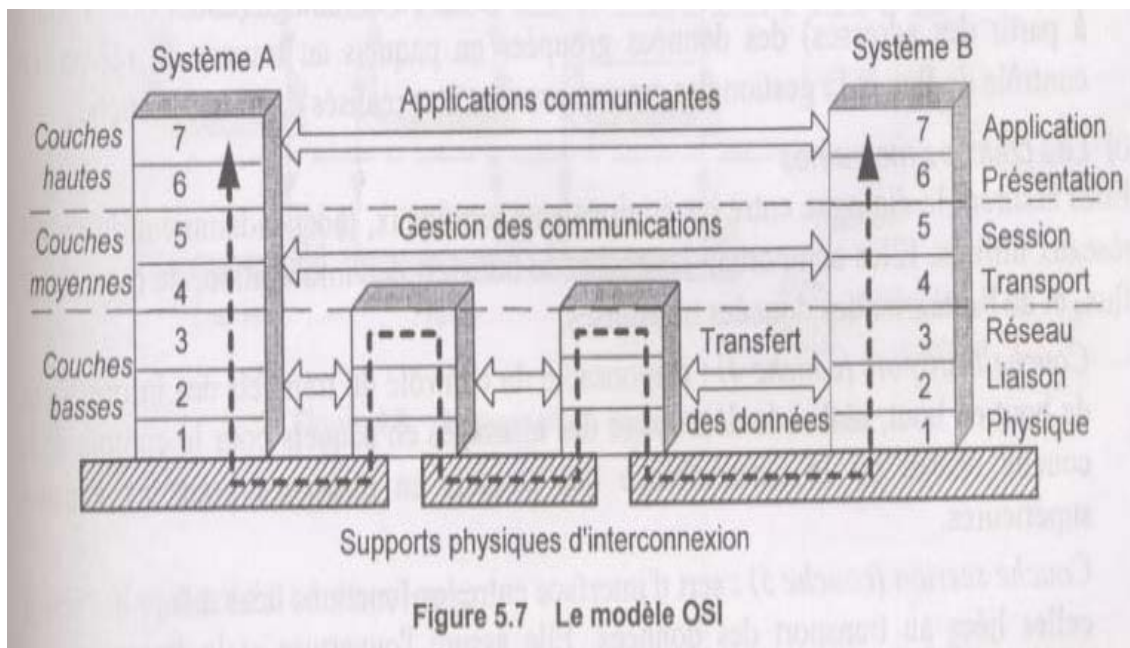
#### 5.4 NORMALISATION

##### 5.4 Le modèle OSI

Un réseau est un ensemble complexe qui nécessite une décomposition des systèmes interconnectés en éléments matériels ou logiciels directement réalisables.

La décomposition en sept couches superposées, sept sous-ensembles fonctionnels, proposée par l'ISO (*International Standardisation Organization*) définit les caractéristiques physiques et logicielles pour l'interconnexion en réseau des systèmes ouverts. Les fonctionnalités de chaque couche sont assurées par des fonctions logicielles, à l'exception des couches 1 et 2, réalisées par des composants matériels.

Ce modèle d'architecture en couches, dénommé modèle OSI (*Open System Interconnection*), est décrit par la figure 5.7. Il est fondamental de garder à l'esprit que ce sont les applications (couche 7) des systèmes d'extrémité (systèmes A et B) qui ont besoin d'échanger des données. Les autres couches ne sont là que pour permettre cet échange. Lorsque des systèmes intermédiaires, commutateurs par exemple, sont nécessaires, ils ne contiennent que les couches nécessaires à l'acheminement et au transfert des informations (en général, les couches 1, 2 et 3).



Les fonctions assurées par l'ensemble des couches vont de l'exécution de l'application mise en œuvre par l'utilisateur (niveau 7) jusqu'à la transmission physique des données sur la ligne ou support physique d'interconnexion (niveau 1).

Lors d'une communication, les échanges entre deux niveaux N (symbole sur la figure) sont réglés suivant le protocole N. Les informations échangées lors de ce dialogue transitent verticalement par les niveaux inférieurs (symbole ),  
de système en système.



#### 5.4.2 Description des couches

Les sept couches peuvent être regroupées en 3 blocs fonctionnels (voir les concepts de base paragraphe 1.1). Les couches 1, 2 et 3 sont les **couches basses**. Elles assurent la transmission et l'acheminement des informations à travers le réseau. Les couches 4 et 5 sont les **couches moyennes**. Elles gèrent les communications et les ressources (processus et mémoire) nécessaires à l'échange des messages entre équipements terminaux (stations ou serveurs). Les couches 6 et 7, **couches hautes**, traitent les données échangées (exécution de commandes, mise en forme, affichage).

##### a) Les couches basses

Se trouvent dans tous les équipements connectés sur le réseau, équipement terminal, d'interconnexion ou contrôleur de communication.

- *Couche physique (couche 1)* : réalise la transmission des éléments binaires constitutifs des trames sur le support suivant des caractéristiques physiques, électriques, optiques et mécaniques définies par des normes (V28, V11, V24, X21, RS232...).
- *Couche liaison (couche 2)* : dans un réseau commuté, assure un service de transport de trames sur une ligne (établissement et libération des connexions, transfert de trames d'information...) et dispose de moyens de détection d'erreur et éventuellement de correction. Le protocole associé définit la signification et l'organisation des trames (exemple : protocole HDLC). Dans un réseau local, elle établit le lien entre les protocoles des couches 1 et 3.
- *Couche réseau (couche 3)* : assure l'acheminement ou le routage (choix des chemins à partir des adresses) des données groupées en paquets au travers du réseau. Le contrôle de flux et la gestion des erreurs peuvent être réalisés dans cette couche.

##### b) Les couches moyennes

Elles assurent le dialogue entre les équipements terminaux, indépendamment du ou des réseaux utilisés. Elles comportent les règles de transfert de l'information, de contrôle de flux, et de l'intégrité des données transmises.

- *Couche transport (couche 4)* : responsable du contrôle du transfert des informations de bout en bout, réalise le découpage des messages en paquets pour le compte de la couche réseau ou le réassemblage des paquets en messages pour les couches supérieures.
- *Couche session (couche 5)* : sert d'interface entre les fonctions liées à l'application et celles liées au transport des données. Elle assure l'ouverture et la fermeture des sessions avec les applications, définit les règles d'organisation et de synchronisation du dialogue entre les abonnés.

##### c) Les couches hautes

- *Couche présentation (couche 6)* : met en forme les informations échangées pour les rendre compatibles avec l'application destinataire, dans le cas de dialogue entre systèmes hétérogènes (comporte des fonctions de traduction, de compression, d'encryptage...).
- *Couche application (couche 7)* : est chargée de l'exécution de l'application et de son dialogue avec la couche 7 du destinataire en ce qui concerne le type ou la signification des informations à échanger (transfert de fichier, interrogation de base de données...).

A chaque couche correspond une unité de données (bit, trame, paquet, message...). Le passage d'une couche à l'autre se fait par ajout d'informations de contrôle (figure 5.8).



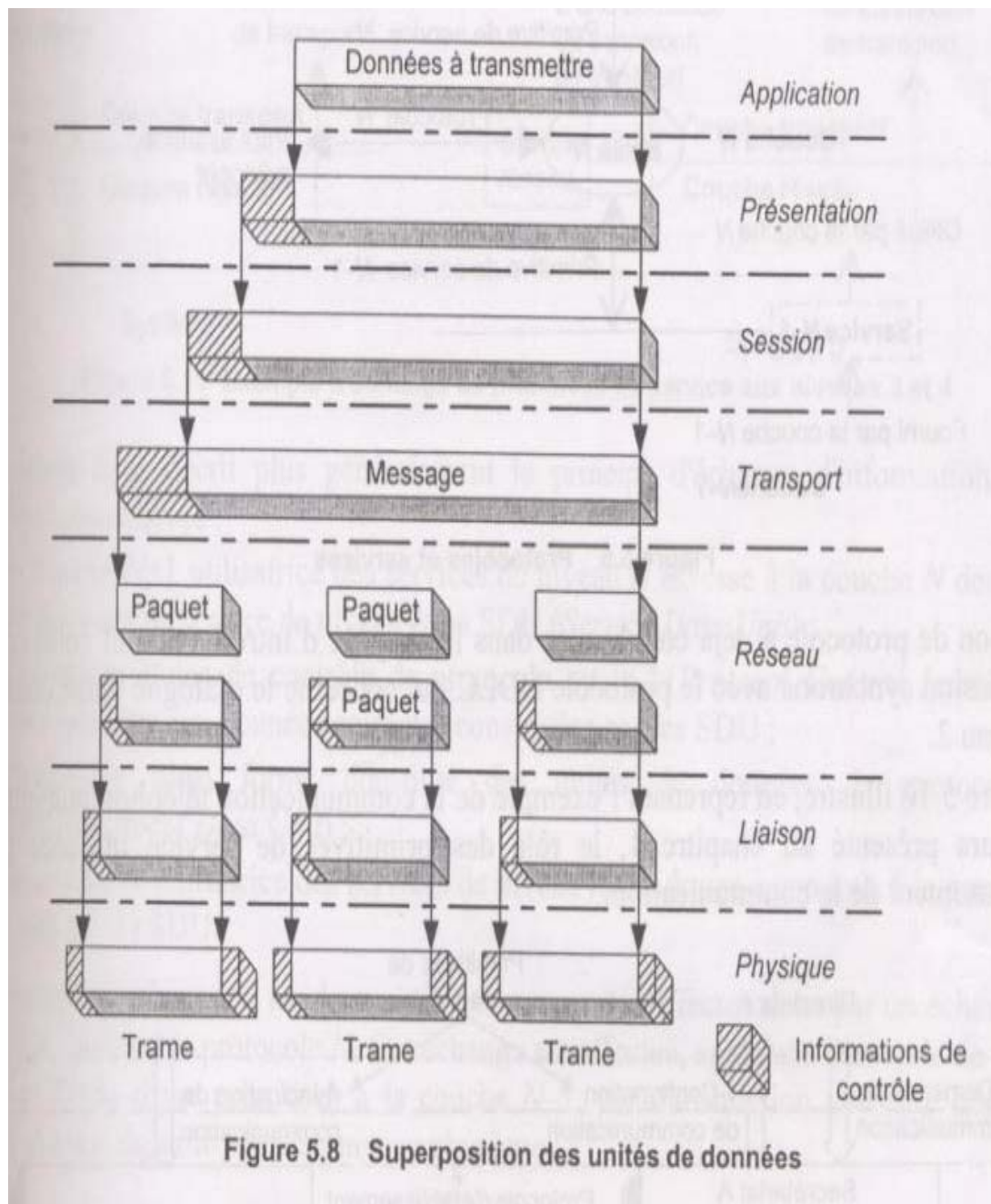


Figure 5.8 Superposition des unités de données

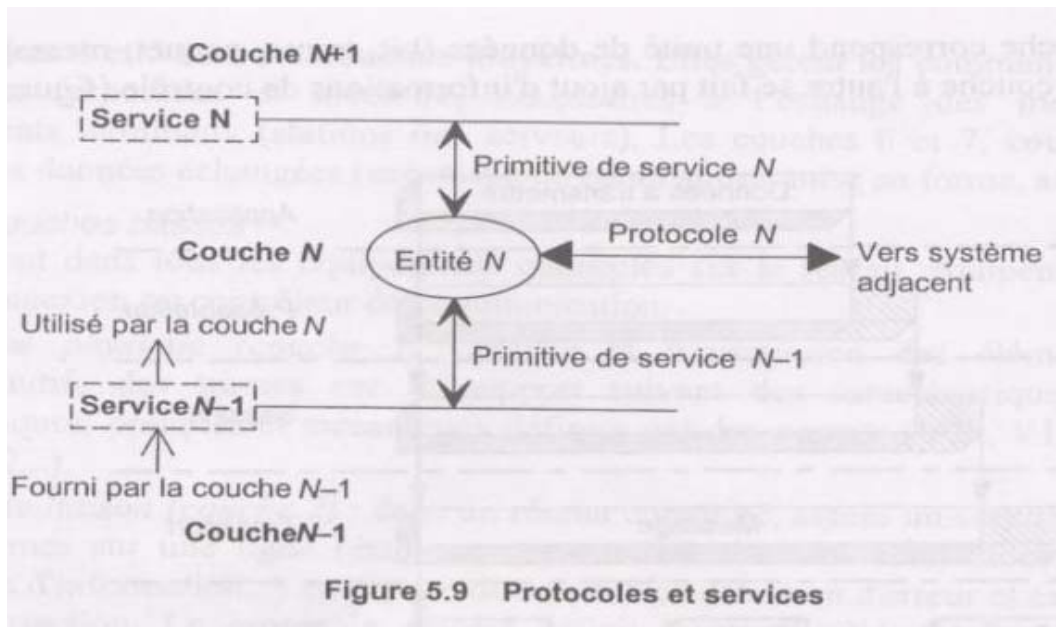
### 5.4.3 Protocoles et services

Le modèle OSI définit également trois notions supplémentaires (figure 5.9) :

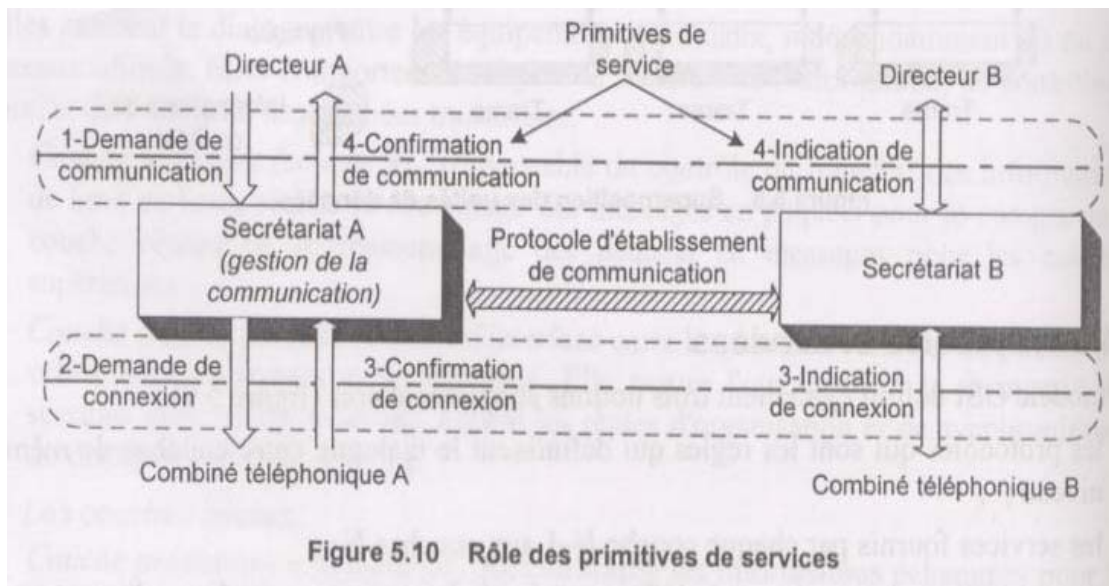
- les protocoles qui sont les règles qui définissent le dialogue entre couches de même niveau ;
- les services fournis par chaque couche  $N-1$  aux couches  $N$  ;
- les primitives de service qui définissent le dialogue entre couches adjacentes et peuvent concerner des demandes, des réponses, des échanges d'informations ou des confirmations d'états.

Les services sont fournis à la frontière entre deux couches au niveau de points d'accès (*SAP: Service Acces Point*).

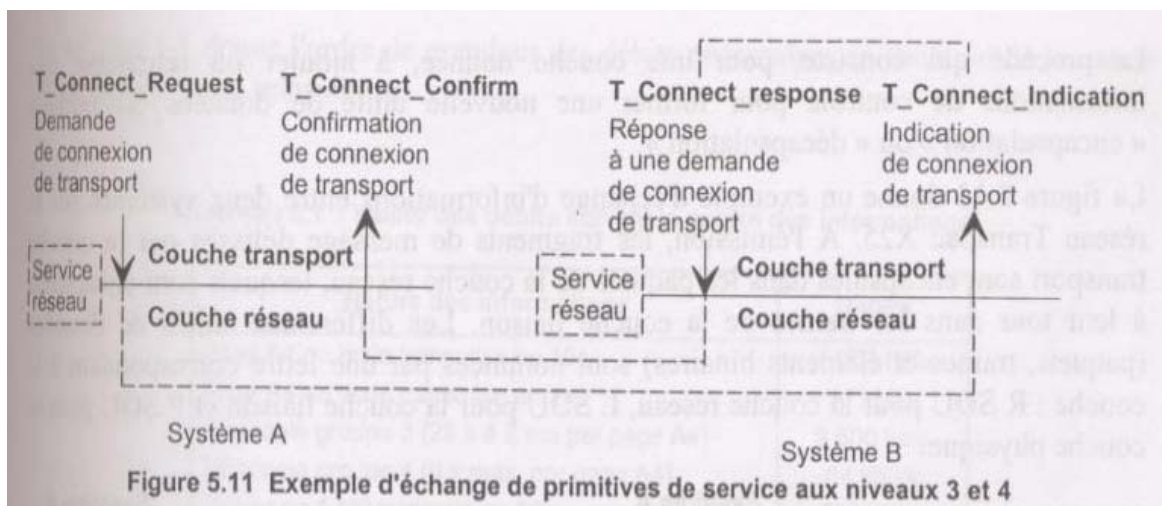
L'une des caractéristiques de la description par couche est de limiter le nombre de primitives et de protocoles qu'une couche doit connaître. La couche  $N$  d'un système n'a à connaître que les primitives de service correspondant à la couche  $N-1$  du même système et le protocole  $N$  des systèmes adjacents.



La notion de protocole a déjà été abordée dans le chapitre d'introduction et celui sur la transmission synchrone avec le protocole HDLC qui concerne le dialogue entre couches de niveau 2. La figure 5.10 illustre, en reprenant l'exemple de la communication téléphonique entre 2 directeurs présenté au chapitre 1, le rôle des primitives de service utilisées pour l'établissement de la communication.



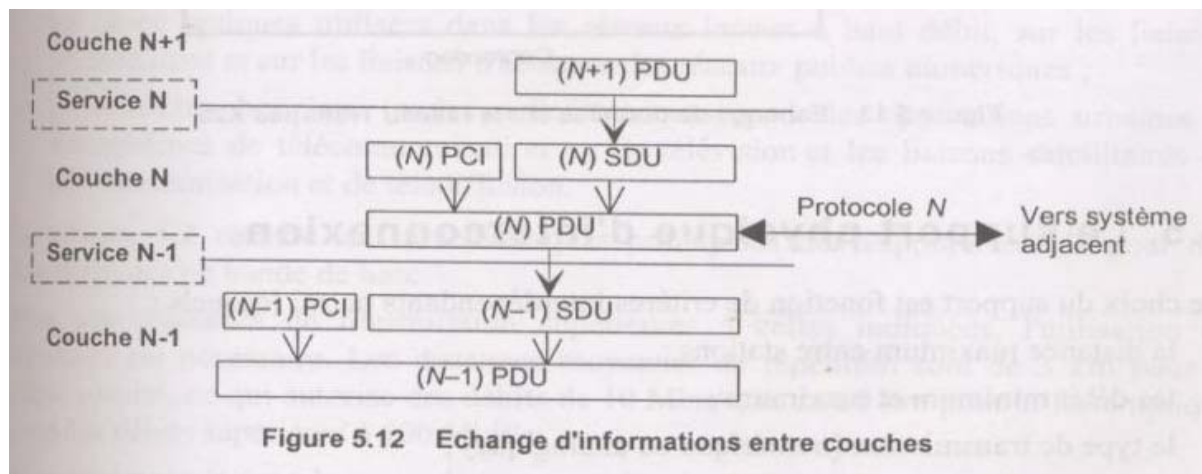
En liaison avec le modèle OSI, la figure 5.11 décrit les quatre primitives échangées à l'interface entre les couches transport et les couches réseau des deux systèmes susceptibles de communiquer. Chaque primitive fait référence à un service particulier, par exemple l'établissement d'une connexion au niveau transport. Ces primitives qui correspondent dans ce cas à des fonctions logicielles, sont associées chacune à des paramètres, comme par exemple les adresses de l'appelant et de l'appelé pour la primitive T\_Connect\_Request.



La figure 5.12 décrit plus généralement le principe d'échange d'informations entre couches successives :

- la couche N+1 utilisatrice des services de niveau N adresse à la couche N des unités de données de service de niveau N ou SDU (*Service Data Unit*) ;
- des informations de contrôle de protocole ou PCI (*Protocol Control Information*) sont ajoutées aux données entrantes constituées par les SDU ;
- l'ensemble ainsi formé constitue des unités de données de protocole ou PDU (*Protocol Data Unit*) ;
- la couche N utilisatrice des services de niveau N-1 adresse à son tour à la couche N-1 des (N-1) SDU.

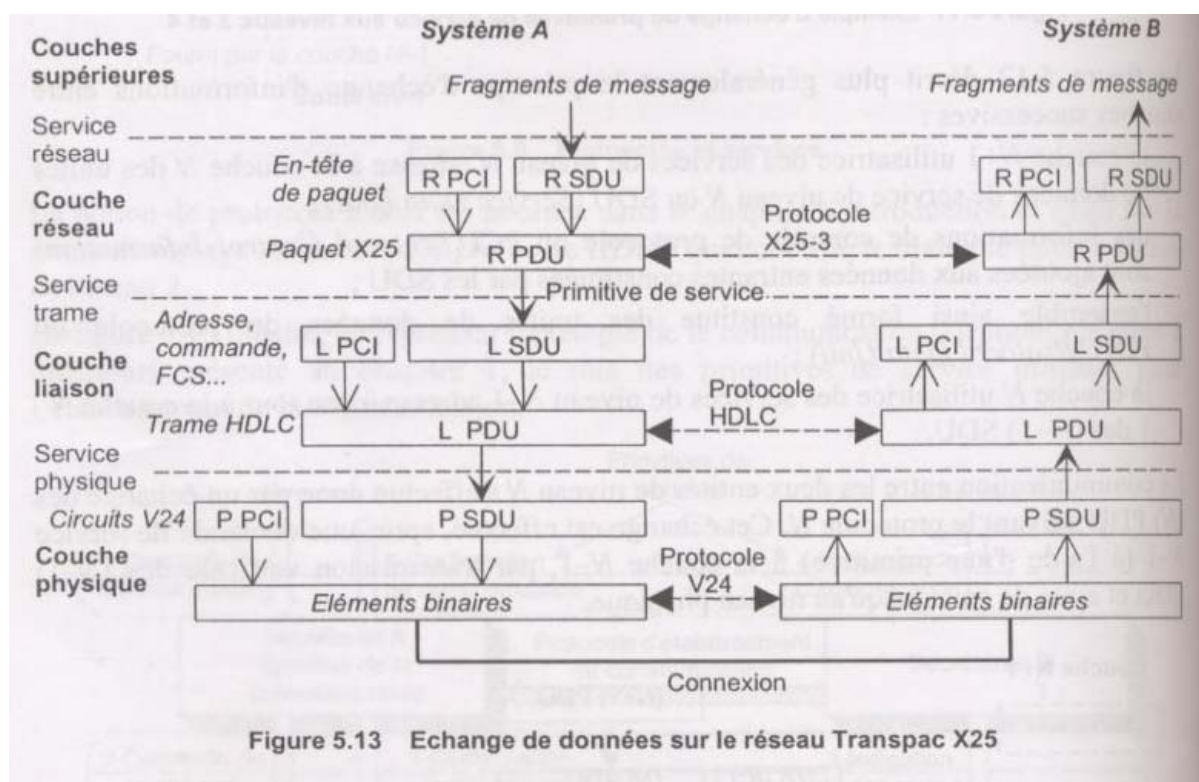
La communication entre les deux entités de niveau N s'effectue donc par un échange des (N) PDU suivant le protocole N. Cet échange est effectué, après une demande de service N-1 (à l'aide d'une primitive) à la couche N-1, par transmission verticale des (N-1) SDU et ainsi de suite jusqu'au niveau physique.



L'échange d'informations des couches basses vers les couches hautes se fait suivant le même principe, à l'aide de primitives de service. Les PCI sont dans ce cas retranchées des PDU entrantes (voir figure 5.13).

Le procédé qui consiste, pour une couche donnée, à ajouter ou retrancher des informations de contrôle pour former une nouvelle unité de données est nommé « encapsulation » ou « décapsulation ».

La figure 5.13 donne un exemple d'échange d'informations entre deux systèmes sur le réseau Transpac X25. A l'émission, les fragments de message délivrés par la couche transport sont encapsulés dans les paquets de la couche réseau, lesquels sont encapsulés à leur tour dans les trames de la couche liaison. Les différentes unités de données (paquets, trames et éléments binaires) sont nommées par une lettre correspondant à la couche : R SDU pour la couche réseau, L SDU pour la couche liaison et P SDU pour la couche physique.





## 5.5 LE SUPPORT PHYSIQUE D'INTERCONNEXION

Le choix du support est fonction de critères interdépendants parmi lesquels :

- le distance maximum entre stations ;
- les débits minimum et maximum ;
- le type de transmission (numérique ou analogique) ;
- la nature des informations échangées (données, voix, vidéos... (VDI) ;
- la connectique ;
- la fiabilité, le coût...

Le tableau 5.1 donne l'ordre de grandeur des débits nécessaires en fonction de la nature des informations à transmettre.

**Tableau 5.1 Valeur des débits suivant la nature des informations**

Nature des informations	Débits
Page A4 de texte transmise en 10s	1 000 bit/s
Page A4 de texte transmise en 1s	10 kbit/s
Télécopie groupe 3 (25 s à 2 mn par page A4)	9 600 bit/s
Télécopie groupe 4 (6 s max. par page A4)	64 kbit/s
Fichier de 1 M0 transmis en 10 s	800 kbit/s
Voix échantillonnée sur 8 bits à 8 kHz	64 kbit/s
Son stéréo échantillonnée sur 16 bits à 44,1 kHz	1,4 Mbit/s
Image N&B non compressée (50 images/s)	12,5 Mbit/s
Image N&B compressée	500 kbit/s
Image couleur non compressée (50 images/s)	200 Mbit/s
Image couleur compressée	2 Mbit/s

Les différents supports physiques sont :

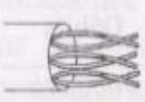
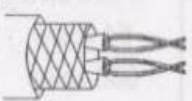
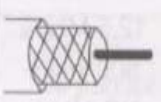
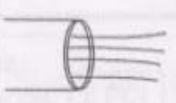
- les fils de cuivre en paire torsadée utilisés pour la transmission locale en bande de base ou pour de faibles fréquences et sur de courtes distances ;
- les paires torsadées blindées utilisées en réseau urbain pour des transmissions numériques ;
- les câbles coaxiaux utilisés dans les réseaux locaux en bande de base ou pour la transmission urbaine et interurbaine à moyen et haut débit ;
- les fibres optiques utilisées dans les réseaux locaux à haut débit, sur les liaisons interurbaines et sur les liaisons d'abonnés des réseaux publics numériques ;
- les faisceaux hertziens (ondes radioélectriques) pour les applications urbaines et interurbaines de télécommunication ou de télévision et les liaisons satellitaires de télécommunication et de télédiffusion.

Le tableau 5.2 résume les caractéristiques principales des supports usuels pour des transmissions en bande de base.

Pour des distances de transmission supérieures à celles indiquées, l'utilisation de répéteurs est nécessaire. Les distances moyennes de répétition sont de 3 km pour le câble coaxial, ce qui autorise des débits de 10 Mbit/s, et de 50 km pour la fibre optique avec des débits supérieurs à 100 Mbit/s.

Pour les transmissions longues distances en bande de base ou par modem, l'utilisateur doit employer les ressources des télécommunications, en empruntant le RTC, RNIS ou en louant des lignes spécialisées à un opérateur réseau. Ces lignes électriques ou optiques proposent des débits de quelques dizaines de kbits/s à quelques Gbits/s.

Tableau 5.2 Caractéristiques des différents supports

Type de support		Débit max.	Distance max. (sans répéteurs)	Temps de propagation	Immunité au bruit	Remarques
Paire torsadée non blindée (0,2 mm)		100 Mbit/s	1 km	$\approx 5,3 \mu\text{s}/\text{km}$	Faible	Affaiblissements importants
Paire torsadée blindée (0,2 à 1 mm)		100 Mbit/s	1 km	$\approx 5,3 \mu\text{s}/\text{km}$	Bonne	Liaisons multifils
Câble coaxial (2,6/9,5 mm ou 1,2/4,4 mm)		100 Mbit/s	1 km	$\approx 4,1 \mu\text{s}/\text{km}$	Très bonne	Impédance caractéristique de 50 $\Omega$ ou 75 $\Omega$ B $\approx 500$ MHz
Fibre optique		1000 Mbit/s	10 km	$\approx 5 \mu\text{s}/\text{km}$	Excellente	Connexion difficile B = 1 GHz pour 1 km

## Résumé

- Les réseaux utilisent des supports partagés et des **liaisons multipoint**. Chaque système connecté au support doit disposer d'une adresse unique. Les éléments d'un réseau téléinformatique sont regroupés en équipements terminaux, équipements d'interconnexion et contrôleurs de communication.

Les **méthodes d'accès** au support définissent quel système peut émettre sur le support.

- Dans un **réseau local**, les liaisons entre les équipements sont généralement permanentes. Dans un **réseau public**, les liaisons entre les équipements sont limitées à la durée de la communication.

- Trois types de commutation sont utilisés dans les réseaux : la commutation de **circuit**, la commutation de **paquets** et la commutation de **cellules**.

La commutation de circuit ne nécessite pas de stockage des informations dans le réseau, mais entraîne un faible taux d'activité.

La commutation de paquets nécessite le stockage de chaque paquet dans les tampons des commutateurs. Elle permet des taux d'activité élevés.

La commutation de cellules permet de diminuer le délai de transmission nécessaire à la voix et à la vidéo

- Les trafics sur les réseaux sont caractérisés par leur intensité, leur **taux d'activité** et le délai d'acheminement.

- Le **modèle OSI** décompose le fonctionnement des systèmes interconnectés en **7 couches fonctionnelles**.

Les couches peuvent être regroupées en 3 blocs fonctionnels : les couches basses gèrent la connexion et l'acheminement des informations, les couches moyennes gèrent la communication, les couches hautes traitent les données.

Les **protocoles** définissent les dialogues de couche N à couche N, les **primitives de service** sont utilisées entre une couche N-1 et la couche adjacente N.

A l'unité de donnée de service (Service Data Unit) reçue, une couche N ajoute des informations de **contrôle** (Protocole Control Informations) pour former une **unité de données de protocole** (Protocol Data Unit).

- Les supports physiques utilisés dans les réseaux sont : les paires torsadées, les câbles coaxiaux, les fibres optiques et les faisceaux hertziens.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1. Une liaison de type multipoint connecte :
- a) 2 systèmes                      b) plus de 2 systèmes
- Q2. Une simple liaison V24 peut-elle être multipoint ?
- a) oui                                      b) non
- Q3. A quel type d'élément appartient une carte d'interface réseau ?
- a) terminaux                      b) équipements d'interconnexion                      c) contrôleurs de communication
- Q4. Quel est le type de commutation utilisé par le RTC ?
- a) de circuit                      b) de paquets                      c) de cellules
- Q5. Quel est le type de commutation utilisé par le réseau Tanspac ?
- a) de circuit                      b) de paquets                      c) de cellules
- Q6. Quel type de commutation ne nécessite pas le stockage des données dans le réseau ?
- a) De circuit                      b) de paquets                      c) de cellules
- Q7. Quelles couches gèrent les communications ?
- a) Couches basses                      b) couches moyennes                      c) couches hautes
- Q8. La couche réseau fait partie :
- a) Des couches basses                      b) des couches moyennes                      c) des couches hautes



Q9. Le dialogue entre couches adjacentes est défini par :

- a) Les protocoles      b) les services      c) les primitives de service

Q10. L'unité de données passée par une couche N à une couche N-1 est :

- a) SDU      b) PCI      c) PDU

### Exercices (☺ : facile    ☺☺ : moyen    ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

1. ☺ Pour une application de réservation de places par minitel, calculer le taux de connexion et le taux d'activité si les paramètres du trafic sont les suivants :
- nombre maximum de sessions à l'heure : 15 ;
  - durée moyenne d'une session : 3 mn ;
  - taille du message : 640 caractères ;
  - débit de la ligne : 1 200 bit/s.

2. ☺☺☺ Calculer le délai d'acheminement d'un message de 1 000 octets pour les deux types de réseaux :
- a) réseau à commutation de paquets de 1000 octets ;
  - b) réseau à commutation de paquets de 100 octets.

Dans les deux cas le nombre de commutateurs traversés est de 3, le débit du réseau est de 9 600 bit/s et les temps de propagation et d'attente dans les commutateurs seront négligés.

3. ☺ Pour une application de type transfert de fichiers sur réseau commuté, on transmet toutes les heures des fichiers de 1 Mo sur une ligne à 9600 bit/s. Calculer le taux d'activité et le taux de connexion si la ligne est commutée pour des sessions de 20 mn.
4. ☺☺ Quel est le débit nécessaire pour transmettre des images d'une définition de  $800 \times 600 \times 16$  bits avec une fréquence image de 70 Hz pour un taux de compression de 20 ? Quels sont les supports physiques compatibles avec de tels débits ?
5. ☺ Calculer le débit nécessaire pour transmettre un son numérisé sur 16 bits à 40 kHz. Quels sont les supports physiques compatibles avec ce débit ?
6. ☺ Quels sont les différents supports de transmission possibles pour l'installation d'un réseau local avec les contraintes suivantes :
- débits jusqu'à 10 Mbit/s ;
  - distance maximum entre stations : 4 km.

## Chapitre 5

### QCM

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
b)	b)	c)	a)	b)	a)	b)	b)	c)	c)

### Exercices

1. Pour chaque caractère, 10 bits sont transmis (start + 7 bits + parité + stop).

$$E = \frac{15 \times 3 \times 60}{3\,600} = 0,75 \quad ; \quad T_t = \frac{640 \times 7}{1\,200} = 5,33 \text{ s} \quad ; \quad \sigma = \frac{3,73}{3 \times 60} = 3\%$$

La valeur de  $E$ , proche de 1, justifie l'utilisation d'une liaison spécialisée.

2. Paquets de 1000 octets :

$$D_a = \frac{(4 \times 1\,000) \times 8}{9\,600} = 3,33 \text{ s}$$

Paquets de 100 octets :

$$D_a = \frac{(13 \times 100) \times 8}{9\,600} = 1,08 \text{ s}$$

3.  $E = \frac{20 \times 60}{3\,600} = 0,33 \quad ; \quad T_t = \frac{1\,024^2 \times 8}{9\,600} = 873,81 \text{ s} \quad ; \quad \sigma = \frac{873,81}{20 \times 60} = 73\%$

Les valeurs trouvées justifient l'emploi d'une liaison commutée.

4. Taille de l'écran :  $800 \times 600 = 480 \cdot 10^3$  pixels, soit  $480 \cdot 10^3 \times 16 = 7,68 \cdot 10^6$  bits

Après compression :  $7,68 \cdot 10^6 / 20 = 384 \cdot 10^3$  bits par écran

Pour avoir 70 images par seconde, il faut :  $384 \cdot 10^3 \times 70 = 26,88$  Mbits/s

Les supports compatibles sont : le câble coaxial ou la fibre optique. La paire torsadée catégorie 5 peut être utilisée sur une distance inférieure à 500m.

5. Débit nécessaire :  $16 \times 40 = 640$  Kbits/s

Tous les supports sont compatibles.

6. Pour supporter 10 Mbits/s sur 4 Km, il faut du câble coaxial ou de la fibre optique.

## Chapitre 6

### Réseaux locaux. Principes

#### 6.1 INTRODUCTION

Un réseau local peut être défini comme l'ensemble des ressources téléinformatiques permettant l'échange à haut débit de données entre équipements au sein d'une entreprise, d'une société ou de tout autre établissement.

Ces réseaux peuvent être globalement caractérisés par des débits allant de 100 kbit/s à 1 Gbit/s sur des distances maximums de 10 km.

Les équipements connectés sont variés : micro-ordinateurs, imprimantes, terminaux, serveurs, calculateurs, stations graphiques, matériel audio ou vidéo, automates pour les réseaux locaux industriels...

Les besoins d'échange sont divers : consultation de bases de données, transfert de fichiers, partage de ressources, transmission de messages, contrôle de processus industriel par des stations réparties, échanges d'informations vidéo ou audio (vidéoconférence ou audioconférence)...

## 6.2 NATURE DES INFORMATIONS

Le type et le volume des informations à transmettre, ainsi que le nombre d'utilisateurs simultanés, constituent la charge du réseau et vont déterminer le débit minimum nécessaire, et donc les types de support possibles. Le support, la disposition des équipements et la configuration du site d'implantation du réseau vont conduire le choix de la topologie.

On peut répertorier plusieurs types d'informations pouvant circuler sur un réseau local :

- les informations de type bureautique (saisie interactive, messagerie...);
- les informations de type informatique (transfert de fichiers, images fixes...);
- les informations de type temps réel (contrôle de processus, voix, images vidéo...).

En liaison avec la nature de l'information, différents types de trafics peuvent être différenciés :

- les trafics asynchrones pour lesquels les données sont transférées de façon irrégulière avec des débits variables ;
- les trafics synchrones qui requièrent un débit moyen constant (par exemple 10 Mbit/s) ;
- les trafics isochrones qui imposent des transmissions à intervalles de temps constants liés au type d'information (par exemple la voix).

Pour un trafic de type asynchrone, on peut distinguer deux cas :

- le trafic est dit interactif lorsqu'un système ou un utilisateur attend une réponse au message envoyé ;
- le transfert de masse qui correspond à l'envoi d'un fichier de taille plus ou moins grande vers un terminal ou un périphérique.

Dans le premier cas, le message est constitué de quelques octets émis de façon sporadique (taux d'activité faible avec des durées d'émission courtes séparées par des silences). La valeur de la durée admissible est alors de l'ordre de 100 ms. Dans le second cas, cette durée peut atteindre quelques dixièmes de secondes (temps d'enregistrement sur un support magnétique ou optique) à quelques secondes (temps d'affichage sur un terminal ou d'impression d'une page).

### 6.2.1 Les informations de type bureautique

Ces informations peuvent nécessiter des transferts de type interactif et correspondent à des applications de consultation de bases de données, de saisie de formulaire ou de tableau, de messagerie, de télécopie... Les débits nécessaires sont rarement supérieurs à 1 Mbit/s pour des trafics de type asynchrone ou synchrone. Pour un document noir et blanc au format A4 avec une résolution de 100 dpi (*dot per inch* ou point par pouce), le nombre de points est d'environ 800x1 200, ce qui nécessite une vitesse inférieure à 1 Mbit/s pour transmettre une page en une seconde.

### 6.2.2 Les informations de type informatique ou multimédia

Il s'agit de fichiers textes, de fichiers programmes, de fichiers graphiques, de sons et d'images fixes ou animées dont le volume peut varier de quelques kilo-octets à quelques centaines de méga-octets.

Le délai d'acheminement peut admettre des variations relativement importantes sans remettre en question la validité de la transmission (les sons ou les images animés sont stockés et exécutés ultérieurement). Ce type d'information peut également admettre une retransmission différée. Le débit peut, suivant les contraintes, atteindre 1 Gbit/s.

De plus, divers algorithmes de compression permettent de réduire les tailles des fichiers :

- compression Huffman, Liv-Zempel-Welch et ses dérivés pour tous type de fichiers ;
  - format GIF (*Graphie Interchange Format*) ou JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) pour les images fixes ;
- format MPEG (*Motion Picture Expert Group*) pour les images et les sons.

### 6.2.3 Les informations de type temps réel

Ces informations doivent être transmises et traitées dans des délais fixés par l'application, elles sont de trois catégories différentes.



### a) La voix et le son

Pour être acheminées et exécutées sur les réseaux locaux, les informations sonores doivent être numérisées. Pour la voix d'une qualité de type téléphonique avec une modulation MIC (voir chapitre 4), un échantillonnage à 8 kHz et un codage sur 8 bits sont mis en œuvre, ce qui correspond une vitesse de transmission de 64 kbit/s. Ce codage impose aux stations de pouvoir émettre ou recevoir un échantillon toutes les 125 μs (trafic isochrone). Or certaines méthodes d'accès au support ne permettent pas de savoir à quel moment la station pourra émettre. Ceci représente l'un des problèmes concernant la transmission de la voix sous forme numérisée. Pour un son d'une qualité de type CD, la fréquence d'échantillonnage est portée à 44,1 kHz (fréquences reproduites allant théoriquement jusqu'à 22050 Hz) pour un codage sur 16 bits. Le débit est alors de 1,411 Mbit/s pour reproduire un son en stéréo sans compression.

### b) L'image animée

L'image peut être obtenue à la source sous forme numérisée. Pour une image en rapport 4/3 avec une résolution de 625x468 pixel codés sur 16 bits et une fréquence de 50 images par seconde (comparable au système SECAM), un débit de 234 Mbit/s serait nécessaire. Les techniques de compression citées précédemment (MPEG2) sont utilisées pour ramener le débit à quelques Mbit/s. Pour reconstituer l'image à l'arrivée, il est nécessaire de resynchroniser les signaux, ce qui implique un trafic isochrone pour des images animées diffusées en temps réel ou pour des applications de vidéoconférence...

### c) La commande de processus

La troisième catégorie, utilisée dans le cadre d'unités de production, fait l'objet de standards particuliers dans le domaine des réseaux locaux industriels. Le trafic est de type sporadique et les contraintes de temps sont fortement liées à l'application. Une commande d'API (automate programmable industriel) dans une chaîne de construction automobile nécessite un traitement en temps réel des informations issues des capteurs, une application de reconnaissance de formes complexes peut nécessiter des délais d'acheminement très courts.

## 6.3 CATEGORIES DE RESEAUX LOCAUX

Un réseau local est utilisé par les entreprises pour véhiculer des données informatiques, mais également la voix, et si possible des informations de type multimédia ou temps réel. Suivant les types de signaux et d'informations transportées, on peut regrouper les équipements en trois catégories :

- les autocommutateurs destinés initialement au transport de la voix ;
- les réseaux locaux en bande de base destinés aux données informatiques ;
- les réseaux locaux large bande qui tentent de transmettre sur un même support différents types d'informations.

### 6.3.1 Les autocommutateurs

Souvent désignés sous le nom de PABX (*Private Automatic Brandi eXchange*), ces équipements sont conçus à l'origine pour transmettre en interne et sur le réseau public les communications téléphoniques d'une entreprise. À l'origine de type analogique, les autocommutateurs étaient difficilement utilisables pour le transfert de données numériques, leurs débits restant faibles. L'apparition des PABX numériques a permis d'atteindre les débits de 64 kbit/s nécessaires à la transmission de la voix numérisée. Certaines versions récentes de PABX permettent en outre la transmission de données informatiques avec des possibilités de mise en réseau avec d'autres équipements d'interconnexion.

### 6.3.2 Les réseaux locaux informatiques

Ces réseaux transmettent les informations numériques en bande de base. La nature des informations peut aller des simples fichiers texte à des sons ou des images animés.

On peut dégager trois classes de réseaux locaux informatiques :

- les réseaux locaux d'entreprise (*Local Area Networks*) qui interconnectent les équipements informatiques au sein de l'entreprise (exemple : Ethernet ou Token Ring) ;
- les réseaux locaux métropolitains (*Metropolitan Area Networks*) destinés à relier plusieurs réseaux d'entreprise. Ils portent également le nom de réseaux fédérateurs ou « épine dorsale » (*backbone network*). FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) est un exemple d'un tel réseau ;
- les réseaux locaux industriels destinés au transport des informations de contrôle de processus présentant ou non des contraintes temps réel. Pour ce type d'application, les industriels cherchent de plus en plus à utiliser les réseaux locaux informatiques.

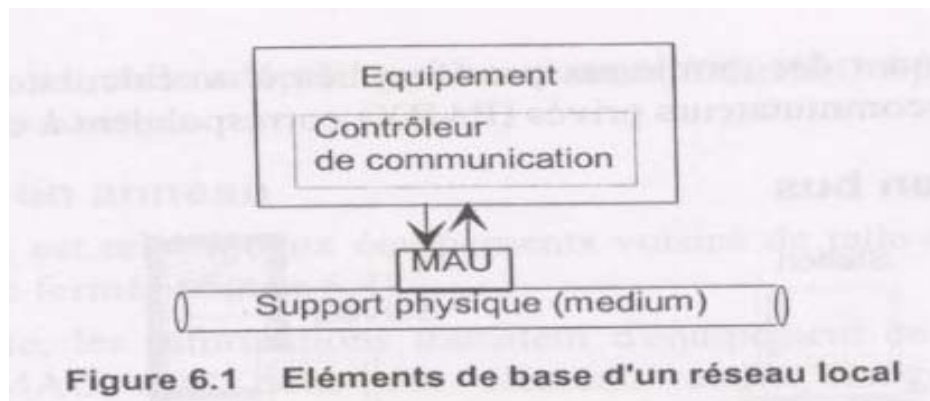
### 6.3.3 Les réseaux locaux large bande

Destinés principalement à la diffusion vidéo, ils permettent également le transport de la voix et des données informatiques. Ils sont capables de transmettre simultanément plusieurs communications tant en numérique qu'en analogique. Ces différents types de transmission doivent à l'heure actuelle être traités par des équipements différents.

Les progrès de la technologie laissent prévoir la généralisation des équipements multimédias. Il devrait alors s'opérer, à terme, un regroupement des réseaux locaux informatiques et large bande.

### 6.4 TOPOLOGIE DES RESEAUX LOCAUX

Chaque équipement informatique est relié au support physique (câble coaxial, fibre optique...) par l'intermédiaire d'un contrôleur de communication (généralement une carte d'interface réseau) et d'une unité de raccordement au support (MAU : *Medium Access Unit*) qui correspond à l'interface physique (figure 6.1).



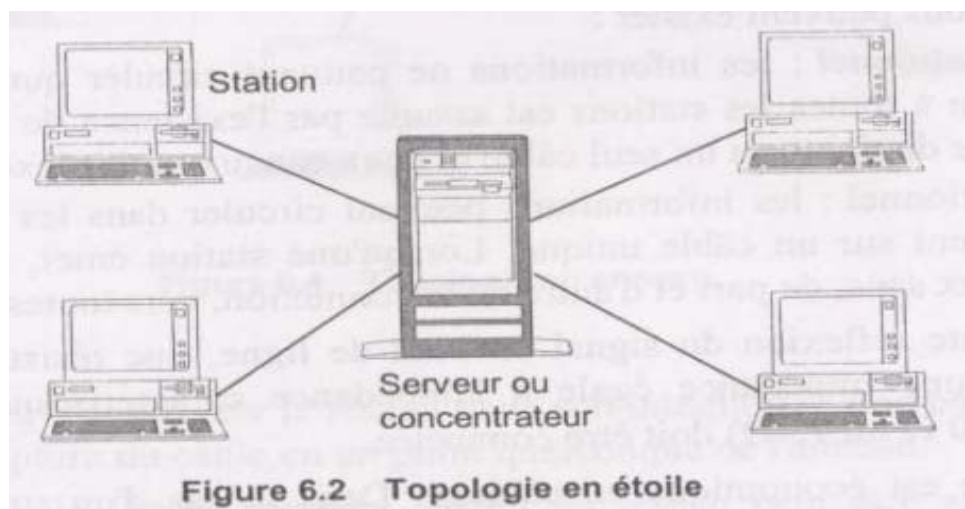
La topologie représente la manière dont les équipements sont reliés entre eux par le support physique. Son choix et l'implantation d'un réseau local s'appuient sur :

- le bilan des équipements informatiques existants ;
- la disposition géographique des équipements et des locaux ;
- l'analyse des besoins immédiats et futurs ;
- les coûts d'investissement et de maintenance.

Le choix du support, lié au débit, influe sur le choix de la topologie. Les normes introduisent des incompatibilités entre certaines architectures et certains supports de transmission.

Une topologie est caractérisée par la figure géométrique réalisée par les liaisons établies entre les équipements. Les trois topologies usuelles sont l'étoile, le bus et l'anneau.

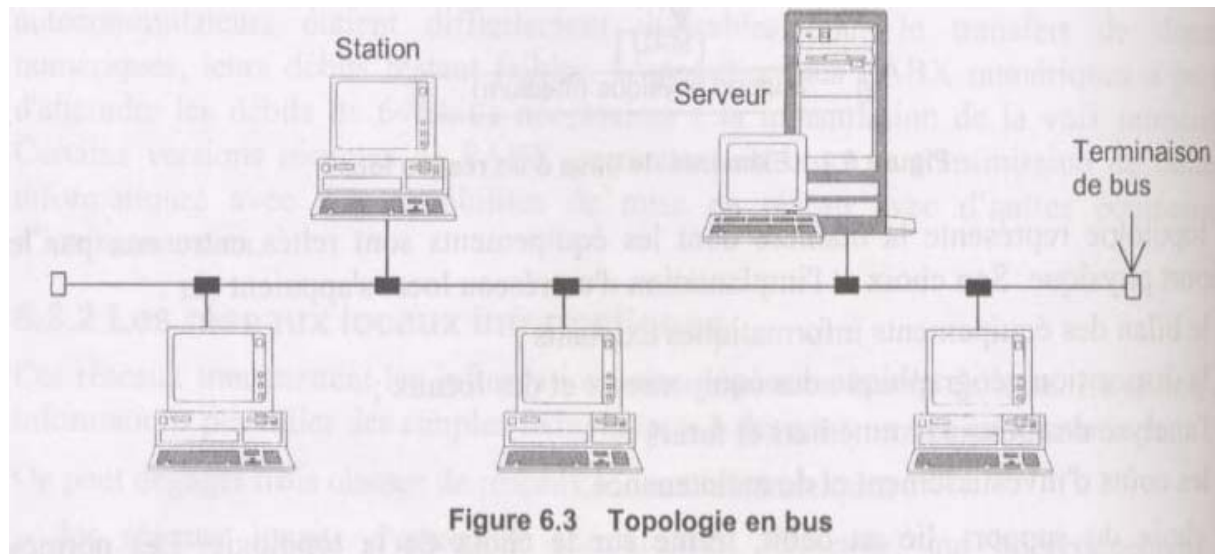
#### 6.4.1 Topologie en étoile



Tous les périphériques sont reliés directement à un serveur ou un concentrateur qui constitue le nœud central par lequel transitent toutes les transmissions (figure 6.2). Cette topologie permet d'ajouter aisément des équipements (un câble par équipement) dans la limite de la capacité du serveur.

La gestion du réseau se trouve par le fait que les équipements sont directement interrogeables par le serveur et que toutes les transmissions y passent (centralisation du logiciel). Par ailleurs, une défaillance d'un équipement terminal ne met pas en cause le fonctionnement du reste du réseau. En revanche, elle peut entraîner des longueurs importantes de câbles, et surtout, une panne sur le serveur immobilise tout le réseau. Les réseaux comprenant des terminaux passifs reliés à un ordinateur central ainsi que les câblages des autocommutateurs privés (PABX) correspondent à cette topologie.

#### 6.4.2 Topologie en bus



Chaque équipement est relié à un câble commun à tous, c'est une extension de la liaison multipoint (figure 6.3).

Sur câbles coaxiaux, les connexions au niveau du câble commun sont assurées par des connexions passives (MAU ou *transceiver*) limitant ainsi les risques de pannes. En revanche, sur fibres optiques, ces connexions sont le plus souvent des équipements actifs.

Deux types de bus peuvent exister :

- bus unidirectionnel : les informations ne peuvent circuler que dans un sens et la transmission à toutes les stations est assurée par l'existence de deux canaux séparés (deux câbles distincts ou un seul câble et deux canaux multiplexés) ;

- bus bidirectionnel : les informations peuvent circuler dans les deux sens mais non simultanément sur un câble unique. Lorsqu'une station émet, le signal se propage dans les deux sens, de part et d'autre de la connexion, vers toutes les autres stations.

Pour éviter toute réflexion du signal en bout de ligne, une résistance de terminaison (*terminator*) d'une impédance égale à l'impédance caractéristique du câble coaxial (couramment 50 Q ou 75 Q) doit être connectée.

Cette topologie est économique en câblage. Dans le cas d'un support de type câble coaxial, elle permet facilement l'extension du réseau par ajout d'équipements (un câble et un connecteur par équipement) dans la limite de la capacité de gestion du système d'exploitation. Si le support est de type optique, cette opération s'avère plus délicate, car elle nécessite la coupure de la fibre optique à l'endroit de la connexion.

En ce qui concerne la fiabilité, le dysfonctionnement d'une station ne met pas en cause le fonctionnement du reste du réseau. En revanche, une panne du serveur immobilise le réseau. En cas de rupture du câble commun, tous les équipements situés en aval par rapport au serveur sont bloqués. Les autres peuvent, sous réserve de reconfiguration par le système d'exploitation et d'ajout d'une résistance de terminaison au niveau de la rupture, continuer à fonctionner.

La topologie en bus est celle adoptée par les réseaux Ethernet, Appletalk et la plupart des réseaux locaux industriels.

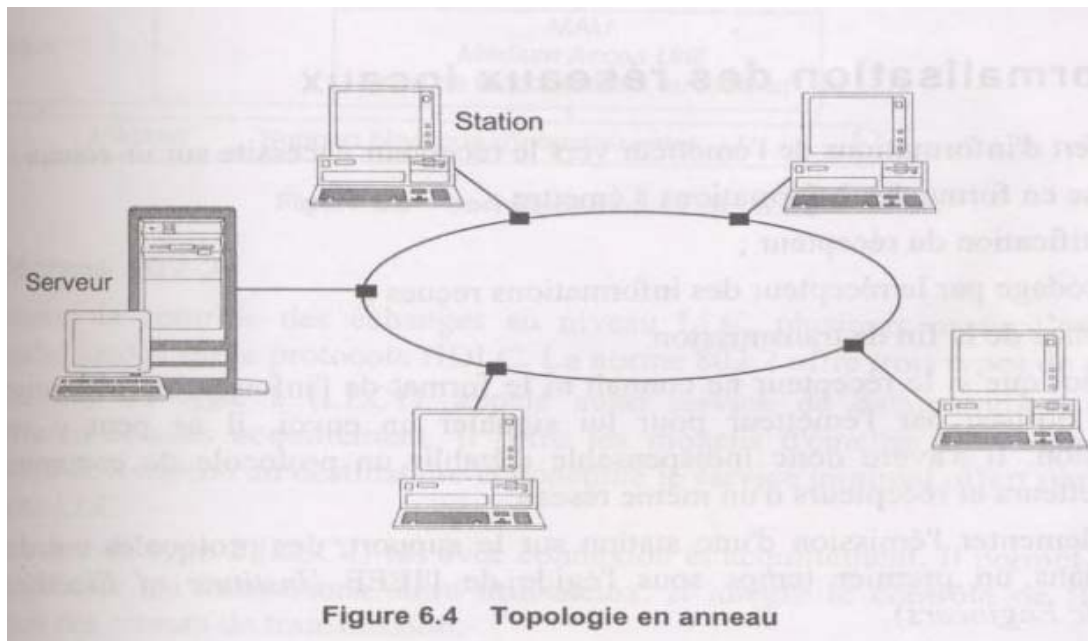
#### 6.4.3 Topologie en anneau

Chaque équipement est relié à deux équipements voisins de telle sorte que l'ensemble constitue une boucle fermée (figure 6.4).



Dans cette topologie, les informations transitent d'équipement en équipement jusqu'à destination. Les MAU sont donc des éléments actifs chargés de recevoir les informations en provenance de la station précédente et de les retransmettre vers la station suivante.

L'insertion de nouveaux équipements sur l'anneau (un câble et un MAU par équipement) nécessite la coupure de l'anneau aux points d'insertion.

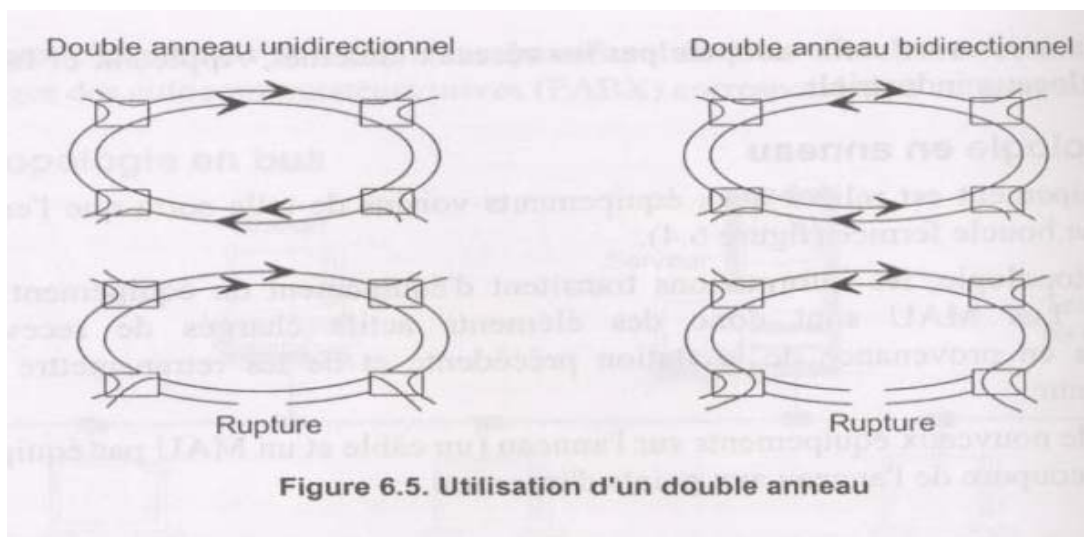


Deux événements peuvent bloquer le réseau dans son intégralité : une panne de l'un des MAU actifs, ou la rupture du câble en un point quelconque de l'anneau.

Dans le premier cas, le fonctionnement partiel du réseau peut être assuré en court-circuitant le MAU en cause, la station associée est alors déconnectée. Dans le second cas, il est possible de limiter le blocage par l'utilisation d'un double anneau (figure 6.5).

Si les informations circulent dans le même sens sur les deux anneaux, le fonctionnement du réseau peut être assuré en cas de rupture de l'un des câbles. Si les informations circulent en sens inverse, il est possible d'assurer le fonctionnement dans le cas de rupture des deux câbles.

Les réseaux Token Ring et FDDI utilisent respectivement les topologies en anneau et double anneau.



## 6.5 NORMALISATION DES RESEAUX LOCAUX

Le transfert d'informations de l'émetteur vers le récepteur nécessite sur un réseau :

- la mise en forme des informations à émettre ;
- l'identification du récepteur ;
  - le décodage par le récepteur des informations reçues ;
  - l'annonce de la fin de transmission.

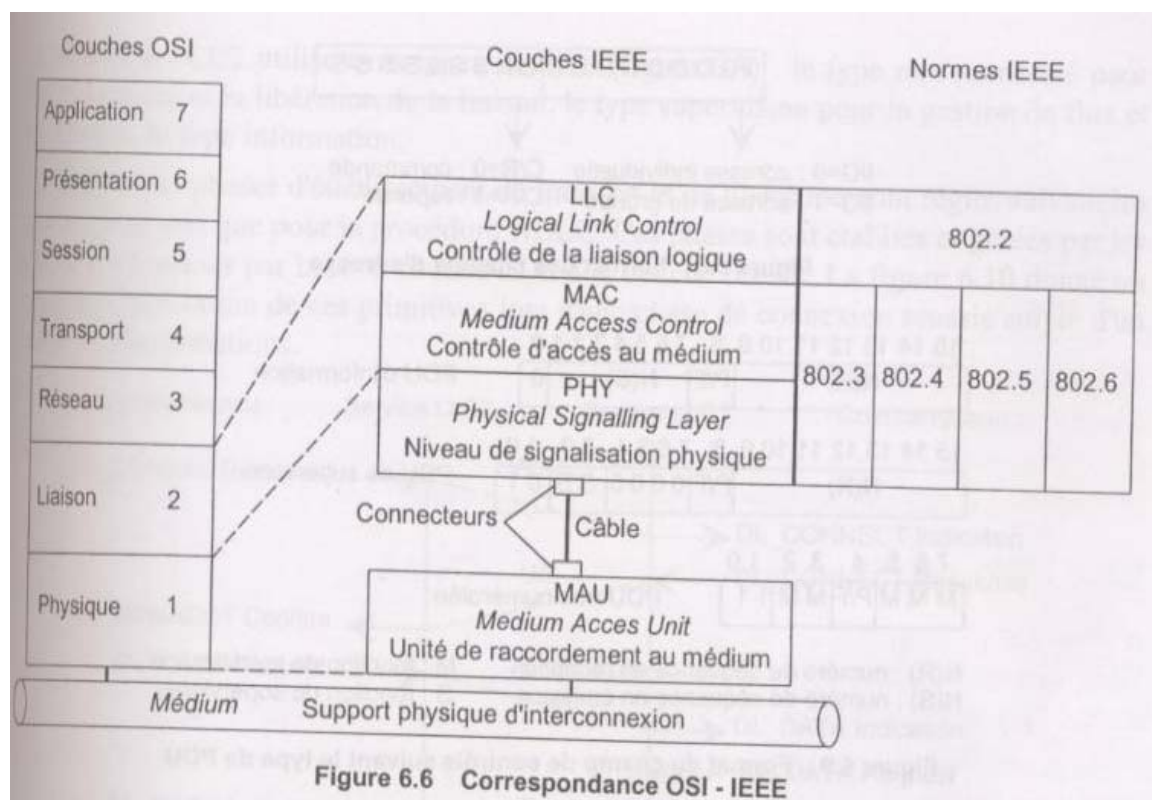
Il va de soi que si le récepteur ne connaît ni le format de l'information transmise, ni la méthode utilisée par l'émetteur pour lui signaler un envoi, il ne peut y avoir de transmission. Il s'avère donc indispensable d'établir un protocole de communication entre émetteurs et récepteurs d'un même réseau.

Pour réglementer l'émission d'une station sur le support, des protocoles ont donc été définis dans un premier temps sous l'égide de l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*).

Ces protocoles ont été repris et complétés par l'ISO (*International Standardisation Organization*). L'ISO a réparti les différents protocoles intervenant dans le dialogue entre stations en niveaux hiérarchisés ou couches. Chaque niveau assure un ensemble de fonctionnalités dans ce dialogue, mais aussi des services vis-à-vis du niveau supérieur. L'ISO a ainsi construit une architecture en sept niveaux hiérarchisés, connue sous le nom de modèle OSI (*Open System Interconnection*), voir chapitre 5.

La correspondance entre les couches du modèle OSI et les sous-couches IEEE est représentée sur la figure 6.6. Les principales normes IEEE concernant les sous-couches LLC, MAC et PHY sont également évoquées.

Les caractéristiques des sous-couches MAC et PHY et des normes associées 802.3 et 802.5 sont décrites dans l'étude des architectures Ethernet et *Token Ring* (chapitre 7). La norme 802.2 correspondant à la sous-couche LLC n'est pas liée à une architecture particulière ; elle est présente, au-dessus de la sous-couche MAC suivant les protocoles de niveaux supérieurs et le système d'exploitation réseau utilisé.



## 6.5 NORMALISATION DES RESEAUX LOCAUX 5.1 Norme 802.2

Pour assurer le contrôle des échanges au niveau LLC, plusieurs protocoles ont été développés, fondés sur le protocole HDLC. La norme 802.2 offre trois types de services.

- Le service de **type 1** (LLC 1), appelé aussi service de datagrammes, est sans connexion et sans acquittement. Il offre les moyens d'émettre des données sans garantie de livraison au destinataire et constitue le service minimal offert par la sous-couche LLC.
- Le service de **type 2** (LLC2) est avec connexion et acquittement. Il permet d'établir et de libérer les connexions entre utilisateurs. Il intègre le contrôle de flux et la gestion des erreurs de transmission.
- Le service de **type 3** (LLC3) est sans connexion mais avec acquittement.

Le format des informations de contrôle utilisées par le protocole LLC est très proche de celui utilisé par la procédure HDLC et se situe entre l'en-tête de niveau MAC et les informations de niveau réseau (figure 6.7 à 6.9).

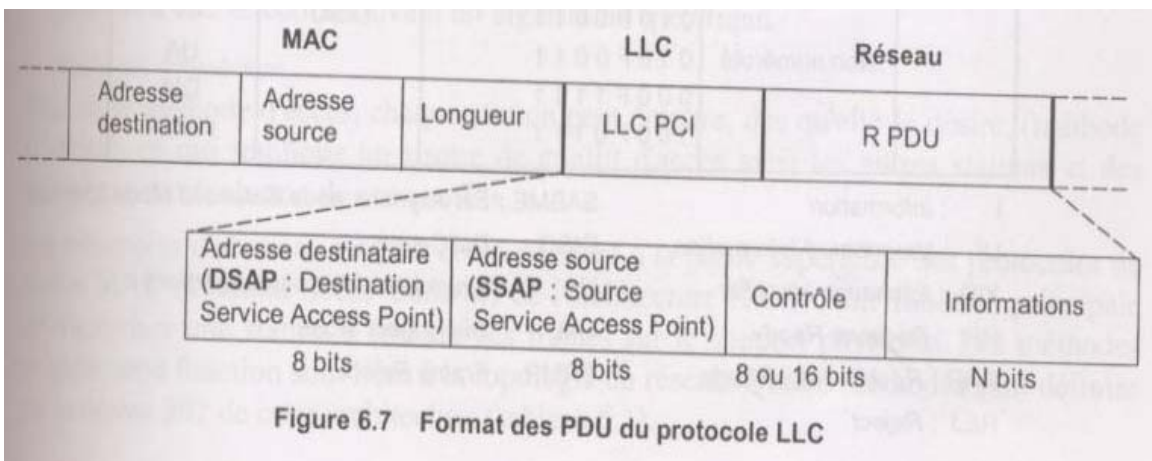
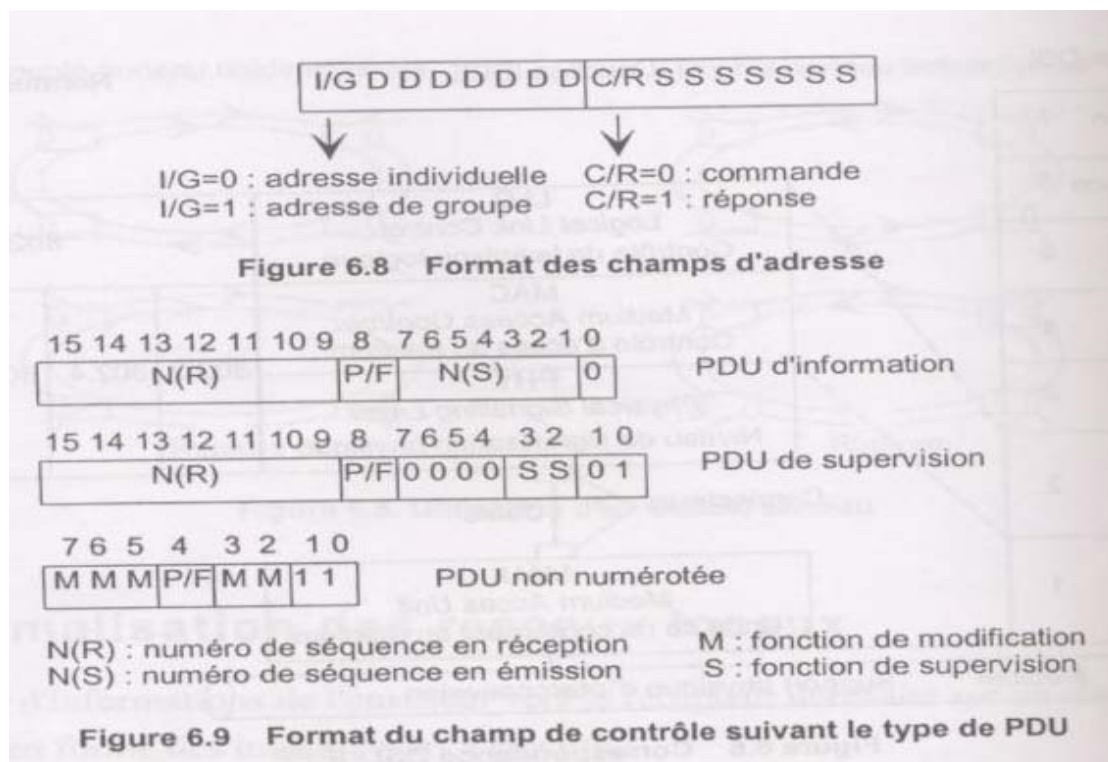


Figure 6.7 Format des PDU du protocole LLC



Le protocole LLC1 emploie trois PDU non numérotées pour transmettre ses informations. Deux PDU sont utilisées pour la gestion (XID et TEST), la troisième pour la transmission des informations venant des couches supérieures (tableau 6.1)

Tableau 6.1 Valeurs du champ de contrôle des PDU

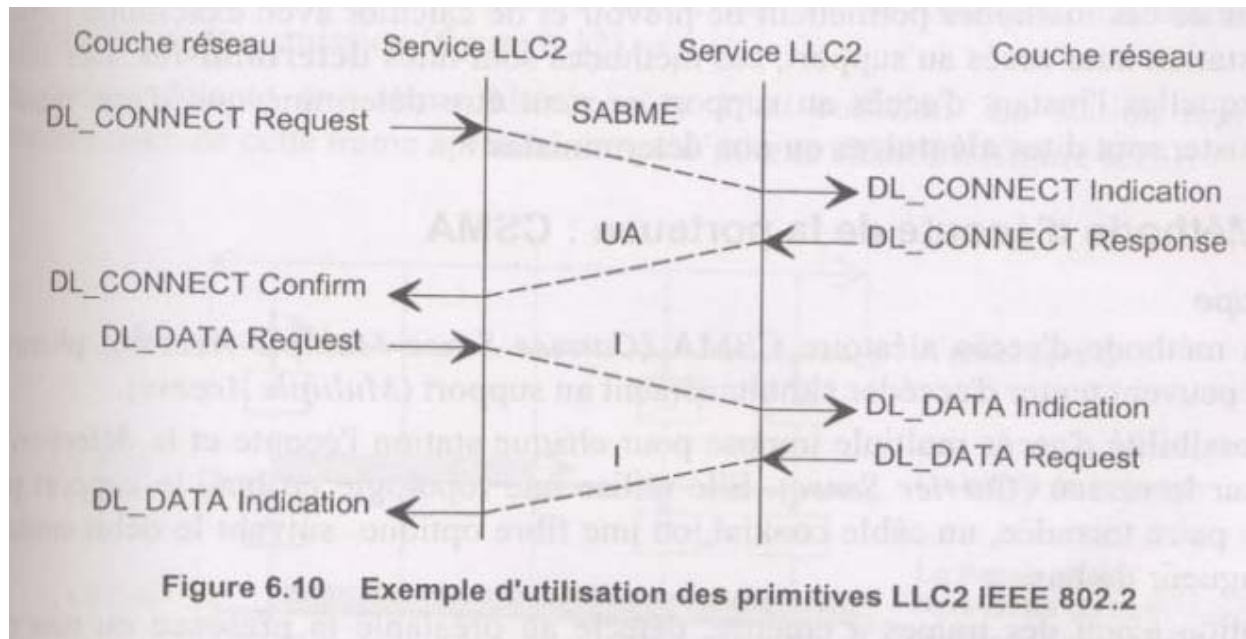
Type de service	Type de PDU	Valeur du champ de contrôle	Nom de commande	Nom de réponse
LLC 1	Non numéroté	0 0 0 X 0 0 1 1	UI	
		1 1 1 X 1 1 1 1	XID	XID
		1 1 1 X 0 0 1 1	TEST	TEST
LLC2	Information	N(R) X N(S) 0	I	I
	Supervision	N(R) X 0 0 0 0 0 0 1	RR	RR
		N(R) X 0 0 0 0 0 1 0 1	RNR	RNR
		N(R) X 0 0 0 0 1 0 0 1	REJ	REJ
	Non numéroté	0 1 1 P 1 1 1 1	SABME	
		0 1 0 P 0 0 1 1	DISC	
0 1 0 F 0 0 1 1			UA	
0 0 0 F 1 1 1 1			DM	
	1 0 0 F 0 1 1 1		FRMR	

I : Information  
 UI : Unnumbered Information  
 XID : Exchange Identifier  
 RR : Receiver Ready  
 RNR : Receiver Not Ready  
 REJ : Reject  
 SABME : Set Asynchronous Balanced Mode Extended  
 DISC : DISConnect  
 UA : Unnumbered Acknowledgement  
 DM : Disconnect Mode  
 FRMR : Frame Reject



Le protocole LLC2 utilise trois types de PDU (figure 6.9) : le type non numéroté pour l'établissement et la libération de la liaison, le type supervision pour la gestion de flux et des erreurs, le type information.

Les différentes phases d'établissement de transfert et de libération sont régies suivant les mêmes principes que pour la procédure HDLC. Ces phases sont établies et gérées par les primitives fournies par la sous-couche LLC à la couche réseau. La figure 6.10 donne un exemple d'utilisation de ces primitives lors d'une phase de connexion réussie suivie d'un transfert d'informations.



## 6.6 METHODES D'ACCES AU SUPPORT

Deux méthodes d'accès essentielles peuvent être distinguées : l'accès par élection et l'accès par compétition.

### > Accès par élection

Dans cette méthode, la gestion de l'accès au support est confiée à un arbitre fixe (gestion centralisée) ou réalisée par l'ensemble des stations (gestion distribuée). L'élection de la station émettrice peut être effectuée de deux manières :

- par consultation (*polling*) : toutes les stations sont consultées dans un ordre fixe, la première station consultée qui désire émettre est élue ;
- par sélection (*selecting*) : les stations désirant émettre envoient une requête, l'arbitre procède à une sélection suivant un algorithme spécifique.

### > Accès par compétition

Dans cette méthode d'accès, chaque station peut émettre, dès qu'elle le désire, (méthode aléatoire), ce qui implique un risque de conflit d'accès avec les autres stations et des procédures de résolution de ces conflits.

Les protocoles d'accès au support correspondent à la partie supérieure des protocoles de niveau *MAC* (*Medium Acces Control*) de l'architecture IEEE. Leur fonction principale est d'autoriser une station à émettre ses trames sur le support physique. Les méthodes assurant cette fonction sont liées à la topologie du réseau. Quatre méthodes sont définies par la norme 802 de cette architecture (tableau 6.1).

Tableau 6.1 Normes IEEE 802

Norme	802.3	802.4	802.5	802.6
Méthode d'accès	CSMA/CD (compétition)	Jeton sur bus (consultation)	Jeton sur anneau (consultation)	DQDB (sélection)
Type	Aléatoire	Déterministe		
Exemple	Ethernet	Token bus IBM	Token ring IBM	Projet ESPRIT

Certaines de ces méthodes permettent de prévoir et de calculer avec exactitude l'instant où une station aura accès au support, ces méthodes sont dites **déterministes**. Les autres, pour lesquelles l'instant d'accès au support ne peut être déterminé que d'une manière probabiliste, sont dites **aléatoires** ou non déterministes.

### 6.6.1 Méthode d'écoute de la porteuse : CSMA

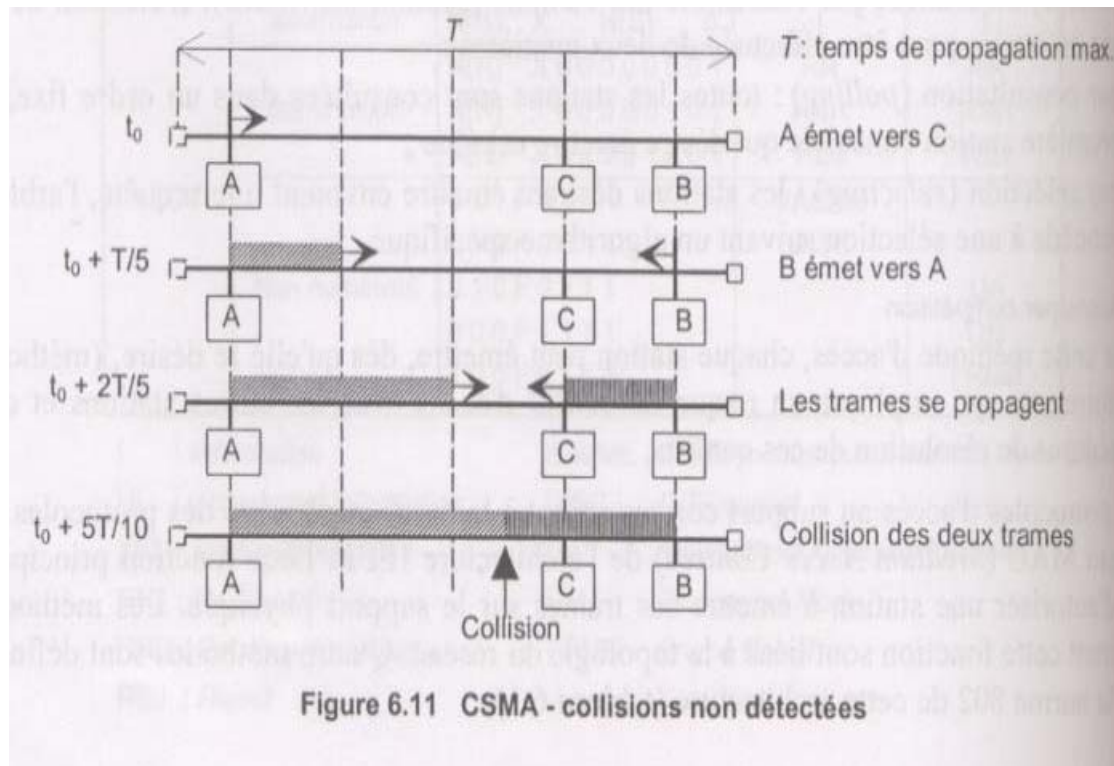
#### a) Principe

Dans la méthode d'accès aléatoire CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), plusieurs stations peuvent tenter d'accéder simultanément au support (*Multiple Access*).

Cette possibilité d'accès multiple impose pour chaque station l'écoute et la détection du signal sur le réseau (*Carrier Sense*). Elle utilise une topologie en bus, le support peut être une paire torsadée, un câble coaxial, ou une fibre optique suivant le débit souhaité et la longueur du bus.

Une station ayant des trames à émettre, détecte au préalable la présence ou non d'un signal sur le bus. Dans l'affirmative, cela signifie qu'une station est en train d'émettre, elle diffère son émission. Dans la négative, elle transmet sa trame.

Cette technique n'évite pas les collisions. En effet, dans l'exemple décrit figure 6.11, à l'instant  $t_0$ , le canal étant libre, la station A transmet sa trame. À l'instant  $t_0 + T/5$  ( $T$  représentant le temps de propagation maximum d'une extrémité à l'autre du réseau), la station B ne détectant pas de porteuse, émet sa trame. Les deux trames se rencontrent à l'instant  $t_0 + 5T/10$ . Il y a collision et les trames sont altérées, donc perdues.



Pour diminuer les pertes de trames, la norme prévoit une détection des collisions (*CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Une fois sa trame émise, la station écoute le support pendant un temps au moins égal au double du temps mis par la trame pour se propager jusqu'au point le plus éloigné du bus (si une collision intervient en ce point, il faut ajouter au temps de propagation de la trame le temps mis par la trame altérée pour revenir et être détectée).

Au bout de ce temps, deux cas peuvent se présenter :

- la trame émise n'est pas altérée, il n'y a pas eu de collision. La station peut poursuivre sa transmission (figure 6.12) ;
- la station détecte une trame altérée, il y a eu collision. La station reprend la transmission de cette trame après un temps d'attente aléatoire (figure 6.13).

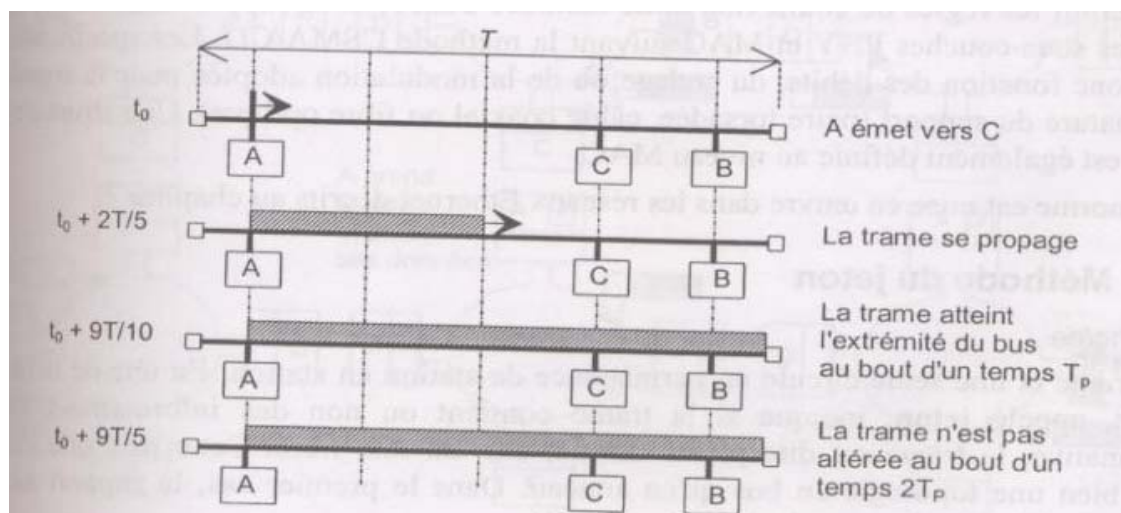


Figure 6.12 CSMA/CD - pas de collision

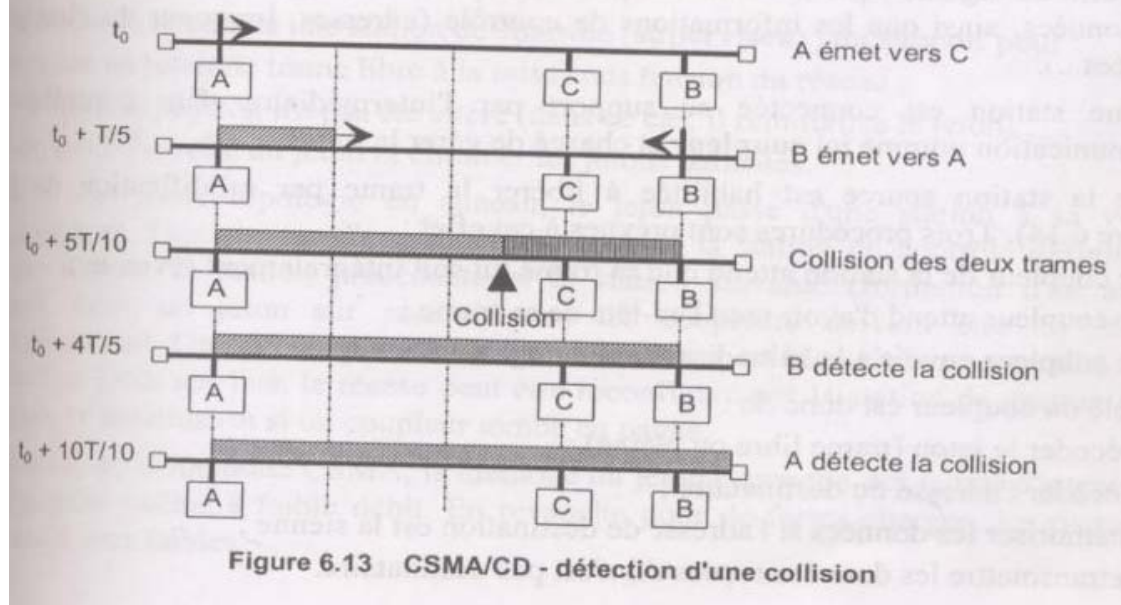


Figure 6.13 CSMA/CD - détection d'une collision

Le temps de transmission d'une trame doit être supérieur au double du temps de propagation entre les deux points les plus éloignés du réseau, car pour qu'une station puisse détecter une collision, c'est-à-dire recevoir une trame altérée, il faut qu'elle soit en émission.

Il n'est pas nécessaire d'avoir une station de contrôle du support (superviseur). En revanche, il est clair que le nombre de collisions augmente avec le nombre de stations voulant émettre, pouvant même conduire à une saturation du support. Le nombre de réémission des trames augmentant, le débit réel diminue (nombre d'informations binaires arrivant à destination par unité de temps). Par contre, lorsque le nombre de stations voulant émettre est faible, cette méthode réduit les temps d'attente.

#### b) Norme IEEE 802.3 (ISO 8802.3)

Elle définit les règles de connexion et de contrôle d'accès à un support organisé en bus pour les sous-couches PHY et MAC suivant la méthode CSMA/CD. Les spécifications sont donc fonction des débits, du codage ou de la modulation adoptée pour le signal de la nature du support (paire torsadée, câble coaxial ou fibre optique). Une structure de trame est également définie au niveau MAC.

Cette norme est mise en oeuvre dans les réseaux Ethernet décrits au chapitre 7.

### 6.6.2 Méthode du jeton

#### a) Principe

Une trame et une seule circule en permanence de station en station. En tête de celle-ci, un bit, appelé **jeton**, indique si la trame contient ou non des informations. Dans l'affirmative, la trame est dite pleine. Sinon, elle est dite libre. Cette méthode utilise aussi bien une topologie en bus qu'en anneau. Dans le premier cas, le support est un câble coaxial, dans le second, une paire torsadée.



Lorsqu'une station désire émettre, elle attend de recevoir une trame libre. Elle modifie le jeton afin de signaler que la trame est pleine, et place ses informations dans le champ des données, ainsi que les informations de contrôle (adresses, longueur du champ des données...).

Chaque station est connectée au support par l'intermédiaire d'un contrôleur de communication nommé ici **coupleur** et chargé de gérer la trame.

Seule la station source est habilitée à libérer la trame par modification du jeton (figure 6.14). Trois procédures sont prévues à cet effet :

- le coupleur de la station attend que sa trame lui soit intégralement revenue ;
- le coupleur attend d'avoir reçu l'en-tête de sa trame ;
- le coupleur envoie à la suite de sa trame un jeton libre.

Le rôle du coupleur est donc de :

- décoder le jeton (trame libre ou pleine) ;
- décoder l'adresse du destinataire ;
- mémoriser les données si l'adresse de destination est la sienne ;
- retransmettre les données reçues s'il n'est pas destinataire.

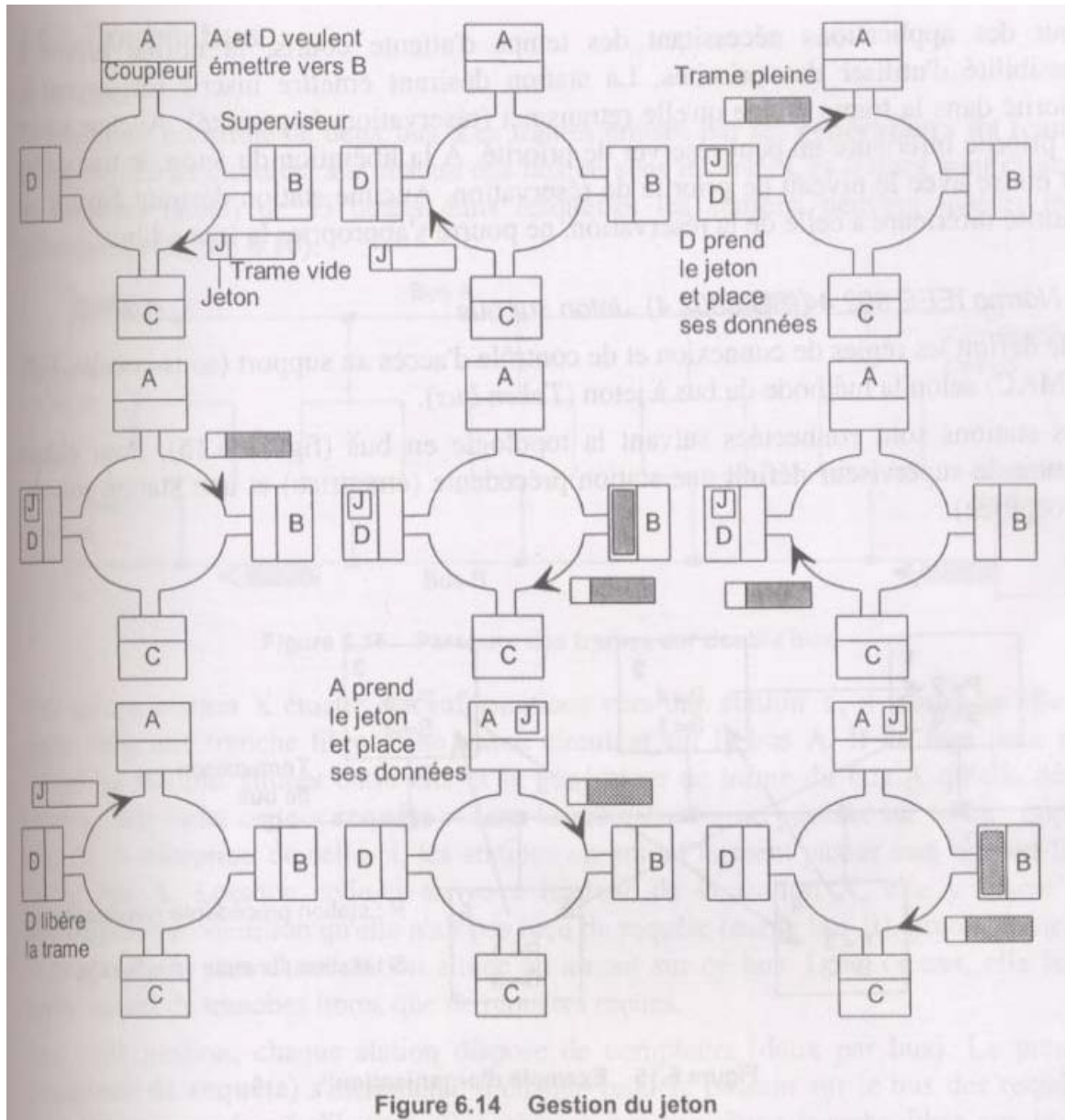


Figure 6.14 Gestion du jeton

Cette méthode nécessite une station de contrôle (**superviseur**) du support pour :

- émettre un jeton de trame libre à la mise sous tension du réseau ;
- vérifier que le jeton n'a pas été altéré (dans ce cas, il réinitialise le jeton) ;
- surveiller l'unicité du jeton et éliminer les jetons parasites.

Dans le cas d'une topologie en anneau, le jeton passe d'une station à sa voisine géographique. Dans le cas d'une topologie en bus, la station de contrôle définit pour chaque station, la station précédente et la station suivante (formation d'un anneau virtuel). Pour un jeton sur anneau, tous les coupleurs doivent être en état de fonctionnement. Un seul coupleur en panne et le réseau est bloqué dans sa totalité

Dans le cas d'un jeton sur bus, le réseau peut être reconfiguré par la station de gestion à tout moment, et notamment si un coupleur tombe en panne.

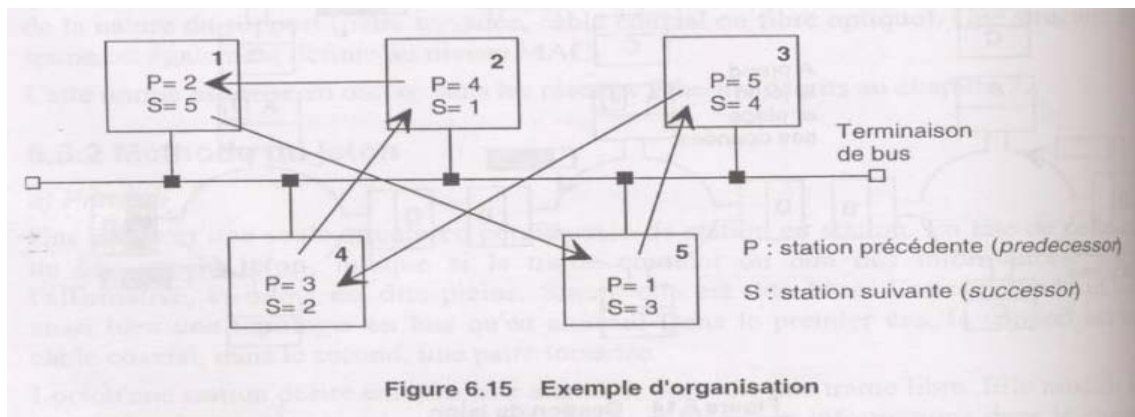
A l'inverse de la méthode CSMA, la méthode du jeton provoque des temps d'attente non négligeables, même à faible débit. En revanche pour de fortes charges, les risques de saturation sont faibles.

Pour des applications nécessitant des temps d'attente courts, la norme prévoit la possibilité d'utiliser des priorités. La station désirant émettre inscrit son niveau de priorité dans la trame pleine qu'elle retransmet (réservation de priorité). Aucune station de priorité inférieure ne peut réserver de priorité. À la libération du jeton, la trame libre est émise avec le niveau de priorité de réservation. Aucune station désirant émettre, de priorité inférieure à celle de la réservation, ne pourra s'approprier la trame libre.

### b) Norme IEEE 802.4 (ISO 8802.4) Jeton sur bus

Elle définit les règles de connexion et de contrôle d'accès au support (sous-couches PHY et MAC) selon la méthode du bus à jeton (*Token bus*)

Les stations sont connectées suivant la topologie en bus (figure 6.15). Pour chaque station, le superviseur définit une station précédente (émettrice) et une station suivante (réceptrice).



La norme 802.4 est définie pour des supports de type câble coaxial, pour des débits allant de 1 à 10 Mbit/s et pour des transmissions en bande de base (codage Manchester) ou large bande. La trame associée est définie au niveau MAC et est comparable à la trame 802.5 avec un champs de données limitée à 8192 octets.

### c) Norme IEEE 802.5 (ISO 8802.5) Jeton sur anneau

Elle définit les règles de connexion et de contrôle d'accès à un support selon la méthode de l'anneau à jeton (*Token Ring*).

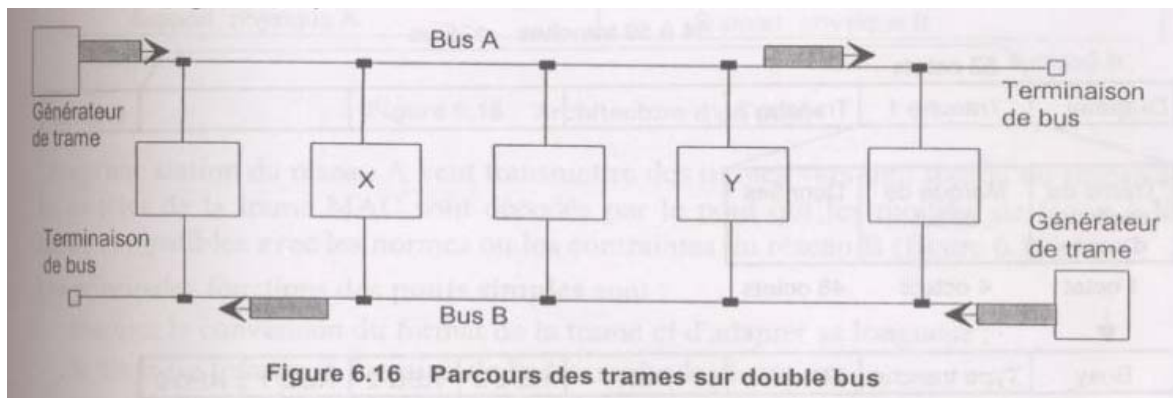
La transmission se fait en bande de base (codage Manchester différentiel) à des vitesses pouvant aller de 4 à 16 Mbit/s sur paire torsadée. La trame de niveau MAC possède un champs de données limitée à 5 000 octets.

Cette norme est mise en œuvre dans les réseaux *Token Ring* décrits dans le chapitre suivant.

## 6.6.3 Double bus

### a) Principe

Le réseau est constitué de deux bus. Les trames émises par les **générateurs de trames** toutes les 125  $\mu$ s circulent sur chacun des bus en sens inverse. Ces trames sont divisées en **tranches** (*slots*) de 53 octets dans lesquelles les stations peuvent insérer leurs informations (figure 6.16).



Pour qu'une station X émette des informations vers une station Y, il faudra qu'elle les insère dans une tranche libre d'une trame circulant sur le bus A. Il lui faut pour cela avertir les stations situées entre elle et le générateur de trame du bus A qu'elle désire émettre. Elle émet cette « requête » dans la première trame passant sur le bus opposé (bus B). A réception de celle-ci, les stations en amont laissent passer une tranche libre sur le bus A. Lorsque celle-ci arrive à hauteur de la station X, elle y insère ses informations, à condition qu'elle n'ait pas reçu de requête (sur le bus B), préalablement à la sienne, de la part d'une station située en amont sur ce bus. Dans ce cas, elle laisse passer autant de tranches libres que de requêtes reçues.

Pour cette gestion, chaque station dispose de compteurs (deux par bus). Le premier (compteur de requête) s'incrémente à chaque passage sur le bus des requêtes, et se décrémente (sauf s'il est à 0) à chaque passage d'une tranche libre sur le bus opposé. Le deuxième (compteur de tranche) est chargé par la valeur du premier au moment de sa propre requête, et décrémente à chaque passage d'une tranche libre. Le compteur de tranche permet ainsi de laisser autant de tranches libres que de demandes émises par les stations situées en aval avant sa propre requête.

Les stations peuvent se voir attribuer des niveaux de priorité (quatre niveaux). Dans ce cas, elles sont munies de deux compteurs par niveau de priorité. Ces compteurs sont incrémentés au passage de requêtes de niveau supérieur ou égal au leur.

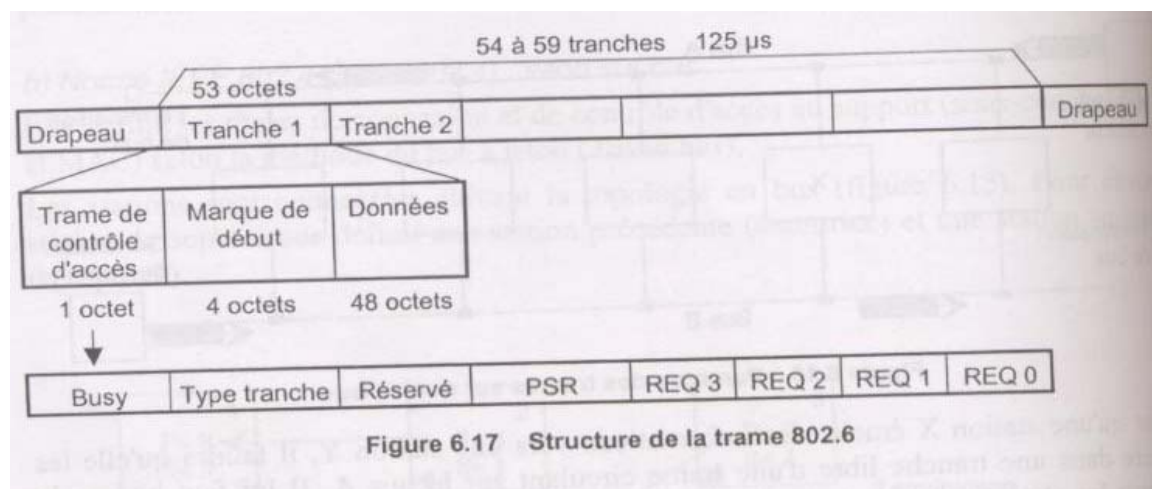
Ce type de gestion d'accès au support, bien qu'un peu complexe, offre certains avantages, dont la possibilité de transmission isochrone (émission de paquets à intervalles de temps constants). Pour chaque station émettrice, une tranche libre est alors réservée en tête de chaque trame pendant toute la durée de la transmission isochrone.

### b) Norme IEEE 802.6 (ISO 8802.6). DQDB (Distributed Queue Dual Bus)

La norme 802.6 définit le protocole d'accès sur un réseau de type double bus et constitue un standard sur les réseaux de type WAN (*Wide Area Network*).

La transmission s'effectue en large bande sur fibre optique ou câble coaxial.

La trame utilisée est émise toutes les 125  $\mu$ s (figure 6.17), ce qui correspond à la norme *ATM (Asynchronous Transfer Mode)* des récents réseaux de transmission numérique. A ce titre, cette norme permet le passage entre les réseaux nationaux et internationaux commutés et les réseaux locaux.



## 6.7 INTERCONNEXION DE RESEAUX

L'interconnexion de deux réseaux d'architecture différente nécessite un équipement d'interconnexion spécifique dont la dénomination varie suivant les différentes couches où des modifications d'en-tête doivent être apportées. C'est ainsi que sont définis :

- le **répéteur** (*repeater*) ou le **boîtier d'interconnexion** (*hub*) qui n'apportent que des adaptations de niveau physique ;
- le **pont** (*bridge*) qui fonctionne dans la couche liaison du modèle OSI ;
- le **routeur** (*router*) qui agit au niveau de la couche réseau ;
- la **passerelle** (*gateway*) qui peut apporter des modifications jusqu'au niveau transport et éventuellement sur les couches supérieures.

### 6.7.1 Le répéteur

Il sert à raccorder deux segments de câbles (deux segments de bus Ethernet par exemple) ou deux réseaux identiques qui constitueront alors un seul réseau logique.



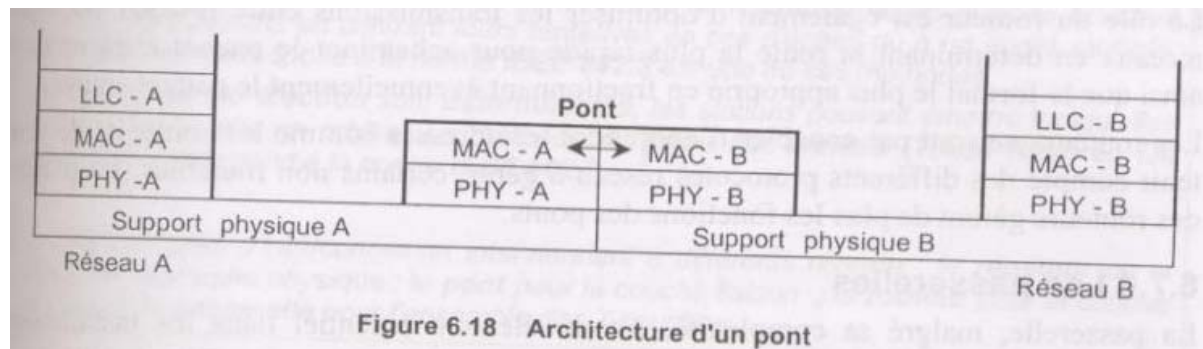
Il a pour fonctions :

- la répétition des bits d'un segment sur l'autre ;
- la régénération du signal pour compenser l'affaiblissement ;
- le changement de support physique (paire torsadés et câble coaxial par exemple).

Le répéteur n'aura aucune fonction de routage ni de traitement des données, ni d'accès au support. Ainsi, le débit de retransmission est le même que le débit de réception. La trame n'est modifiée en aucune façon lors de la traversée du répéteur.

De la même façon, le *hub* est un équipement passif qui permet, notamment sur les réseaux Ethernet, de connecter en paires torsadées les stations du réseau.

### 6.7.2 Le pont



Lorsqu'une station du réseau A veut transmettre des trames vers une station du réseau B, les en-têtes de la trame MAC sont décodés par le pont qui les modifie de façon à les rendre compatibles avec les normes ou les contraintes du réseau B (figure 6.18).

Les principales fonctions des **ponts simples** sont :

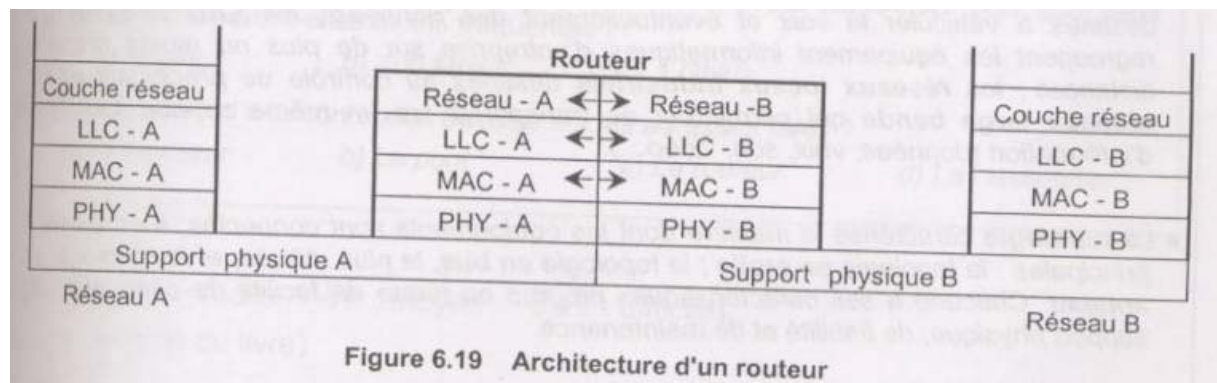
- d'assurer la conversion du format de la trame et d'adapter sa longueur ;
- de filtrer les trames en fonction de l'adresse du destinataire ;
- de positionner certains bits (tels que les bits A et C de la trame *Token Ring*).

Les **ponts routeurs** (ou ponts transparents) assurent en plus quelques fonctions de routage :

- établissement par apprentissage de la table de routage (mémorisation des numéros de station, de réseau et de port au fur et à mesure des transmissions) ;
- filtrage entre les trafics locaux et les trafics inter-réseaux ;
  - contrôle de flux lorsque les débits des réseaux sont différents.

Les ponts comme les routeurs sont généralement administrés par un terminal ou un PC connecté et utilisant un protocole standard d'administration tel SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

### 6.7.3 Les routeurs



Ils relaient les paquets ou les datagrammes entre deux réseaux distincts. Les en-têtes des paquets sont analysés et adaptés aux normes et aux contraintes du réseau sur lequel la trame est retransmise (figure 6.19). Pour cela, le routeur doit assurer les fonctions de routage, de contrôle de flux et de gestion de connexion (ouverture, maintien et fermeture).

Le rôle du routeur est également d'optimiser les transmissions entre réseaux ou sous-réseaux en déterminant la route la plus rapide pour acheminer le paquet à destination ainsi que le format le plus approprié en fractionnant éventuellement le paquet source.

Les routeurs ne sont pas capables d'apprendre les adresses comme les ponts, ils doivent tenir compte des différents protocoles réseau à gérer, certains non routables. La plupart des routeurs gèrent de plus les fonctions des ponts.

#### 6.7.4 Les passerelles

La passerelle, malgré sa complexité, est un élément essentiel dans les installations informatiques mettant en œuvre plusieurs types de réseaux car elle constitue un dispositif de conversion complet. Elle possède une pile complète des sept couches OSI pour chacun des réseaux qu'elle sert.

### Résumé

- Les **réseaux locaux** sont formés par l'interconnexion d'équipements divers (micro-ordinateurs, imprimantes, matériel audio ou vidéo, automates pour les réseaux locaux industriels...) au sein d'une entreprise. Les distances sont limitées à quelques km et les débits à 1 Gbit/s.
- Les **informations** échangées sont de type bureautique (saisie interactive, messagerie...); informatique (transfert de fichiers, images fixes...) ou temps réel (contrôle de processus, voix, images vidéo...). Le type de **trafic** (asynchrone, synchrone ou isochrone) et les débits utilisés sont bien sûr liés à la nature des informations.
- Les réseaux locaux peuvent être classés en quatre catégories : les **autocommutateurs** destinés à véhiculer la voix et éventuellement des données; les **LAN** et **WAN** qui regroupent les équipement informatiques d'entreprise sur de plus ou moins grandes distances; les **réseaux locaux industriels** destinés au contrôle de processus et les **réseaux large bande** qui permettent de transporter sur un même support tout type d'information (données, voix, son, vidéo...).
- La **topologie** caractérise la manière dont les équipements sont connectés, il en existe 3 principales : la topologie en **étoile**; la topologie en **bus**, la plus utilisée, et la topologie en **anneau**. Chacune a ses caractéristiques propres en terme de facilité de connexion, de support physique, de fiabilité et de maintenance.
- La normalisation proposée par l'IEEE rajoute à la modélisation OSI deux sous-couches au niveau 2 : la sous-couche **MAC** et au-dessus, la sous-couche **LLC**.  
La norme **LLC 802.2** offre deux types de services : **LLC1** en mode datagramme et **LLC2** en mode connecté. Le protocole d'échange utilisé est très proche de HDLC, il permet un contrôle de flux et une gestion de trames erronées. Au niveau MAC les normes **802.3** à **802.6** correspondent à différentes méthodes d'accès et architectures.

- Les méthodes d'accès au support par **compétition** sont **aléatoires**, les stations émettent suivant leurs besoins en différant leurs tentatives en cas d'échec dû à un accès multiple. **CSMA/CD** qui correspond à la norme **IEEE 802.3** est une de ces méthodes.

Les méthodes par **élection** sont **déterministes**, les stations peuvent émettre lorsqu'elles y sont invitées par un arbitre. La méthode du **jeton sur anneau** (Token Ring) en fait partie, elle correspond à la norme **IEEE 802.5**.

- Les équipements d'interconnexion interviennent à différents niveaux : le **répéteur** ou le **hub** pour la couche physique ; le **pont** pour la couche liaison ; le **routeur** pour la couche réseau et la **passerelle** pour l'ensemble des 7 couches.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1. Quels sont les débits courants sur un réseau local ?  
 a) 100 kbit/s      b) 10 Mbit/s      c) 100 Mbit/s      d) 9600 bit/s
- Q2. Quel est le débit nécessaire pour transmettre le son avec un qualité de type CD ?  
 a) 234 Mbit/s      b) 64 kbit/s      c) 1,4 Mbit/s      d) 10 Mbit/s
- Q3. Quelle topologie est la plus économique en câblage ?  
 a) Etoile      b) Bus      c) Anneau
- Q4. À quel niveau de la modélisation OSI se situent les sous-couches LLC et MAC ?  
 a) Niveau 1      b) Niveau 2      c) Niveau 3      d) Niveau 7
- Q5. Quelle est la norme IEEE associée à la sous-couche MAC  
 a) 802.2      b) 802.3      c) 802.4      d) 802.5
- Q6. Quelle méthode d'accès permet aux stations d'émettre à un instant quelconque ?  
 a) CSMA      b) CSMA/CD      c) Jeton sur bus      d) Jeton sur anneau
- Q7. Dans un réseau de 10 stations utilisant la méthode d'accès CSMA/CD, pour quel débit les collisions seront-elles moins fréquentes ?  
 a) 10 Mbit/s      b) 100 Mbit/s      c) 1 Gbit/s
- Q8. Quel élément d'interconnexion travaille sur les adresses MAC ?  
 a) Le répéteur      b) Le pont      c) Le routeur      d) La passerelle

## Exercices (☺ : facile ☺☺ : moyen ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

- ☺ Un réseau local est destiné à transférer deux types d'informations :
  - des fichiers texte de 100 Ko maximum nécessitant un temps de transmission minimal de 5 s ;
  - des messages interactifs de cent caractères au maximum transmis en moins de 5 ms.

Calculer la capacité du support pour une transmission en bande de base.



2. ☺ Dans un réseau local constitué de cinq stations, quelles sont les conséquences, suivant la topologie utilisée, d'une rupture de support entre les stations 3 et 4 si le serveur est situé dans la station 2 ?
3. ☺☺ Citer les trois types de services offerts par la sous-couche LLC. Indiquer leurs caractéristiques principales.
4. ☺ La probabilité de collision sur un réseau utilisant la méthode d'accès CSMA est-elle plus importante à 10 Mbit/s ou à 100 Mbit/s ?
5. ☺☺ Sur un réseau de huit stations utilisant la méthode d'accès CSMA, calculer la période de vulnérabilité, temps pendant lequel une station risque de ne pas détecter l'émission d'une trame. On donne :
  - distance moyenne entre stations : 15 m ;
  - vitesse de propagation : 200 000 km/s.
6. ☺☺☺ Un réseau à 10 Mbit/s utilisant la méthode d'accès CSMA/CD est composé de trois stations A, B et C.
  - a) Calculer le temps de propagation maximum  $t_p$  entre les deux stations les plus éloignées pour une trame de 64 octets.
  - b) À l'instant  $t_0$ , la station A veut émettre vers B ; quelle est la durée minimale d'écoute pour pouvoir détecter une collision ?
  - c) À l'instant  $t_0 + t_p/3$ , la station C veut émettre vers B ; à quel instant la collision se produit-elle ?
  - d) À quel instant la collision est-elle détectée par C et par A ?
7. ☺☺ Comparer les trois procédures de libération de trame sur un réseau en anneau utilisant la méthode du jeton.
8. ☺☺ Quelle est la longueur maximum d'une trame sur un réseau en anneau à 1 Mbit/s si le temps de propagation sur toute la longueur est de 10 ms ? Même question pour un débit de 4 Mbit/s.
9. ☺☺☺ Pour un réseau de dix stations connectées en anneau, calculer le temps d'accès minimum d'une station pour des débits de 1 Mbit/s lorsque toutes les stations veulent émettre (on négligera les temps de propagation). Comment se définit le temps d'attente maximum ?
10. ☺ Quel est l'ordre de grandeur du débit sur un réseau utilisant la norme IEEE 802.6 ?
11. ☺☺ Sur un réseau de type DQBD composé de cinq stations (figure 6.16), décrire les différentes étapes d'une séquence de transmission de X vers Y si le compteur de requête de X est égal à 2.

## Chapitre 6

### QCM

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
a) ; b) ; c)	c)	b)	b)	b) ; c) ; d)	a) ; b)	c)	b)

### Exercices

1. Débit nécessaire à la transmission des fichiers :  $100 \times 1\,024 \times 8/5 = 164 \text{ kbit/s}$ .

Débit nécessaire à la transmission des messages :  $100 \times 8/5 \cdot 10^{-3} = 160 \text{ kbit/s}$ .

Capacité du support : 164 kbit/s.

2. Pour une topologie en bus, seules les stations séparées du serveur par la coupure du support sont inaccessibles (stations 4 et 5). Les autres (1, 2 et 3) restent actives, une résistance de terminaison doit cependant être rajoutée au niveau de la station 3. Pour une topologie en anneau simple, tout le réseau est bloqué. Pour un double anneau, le réseau reste utilisable pour toutes ses stations après reconfiguration.

- Le service LLC1 est sans connexion et sans acquittement. Le service LLC2 est avec connexion et acquittement, il gère le contrôle de flux et la gestion des erreurs de transmission. Le service LLC3 est sans connexion mais avec acquittement.
- La probabilité de collision correspond à la probabilité pour qu'une station émette pendant la propagation de la trame émise. Ce temps ne dépend que du temps de propagation sur le support et de la longueur de celui-ci. La probabilité de collision est donc la même pour des débits de 10 Mbit/s et 100 Mbit/s.
- Dans le cas le plus défavorable, la période de vulnérabilité est égale au double du temps de propagation entre les deux stations les plus éloignées, soit :

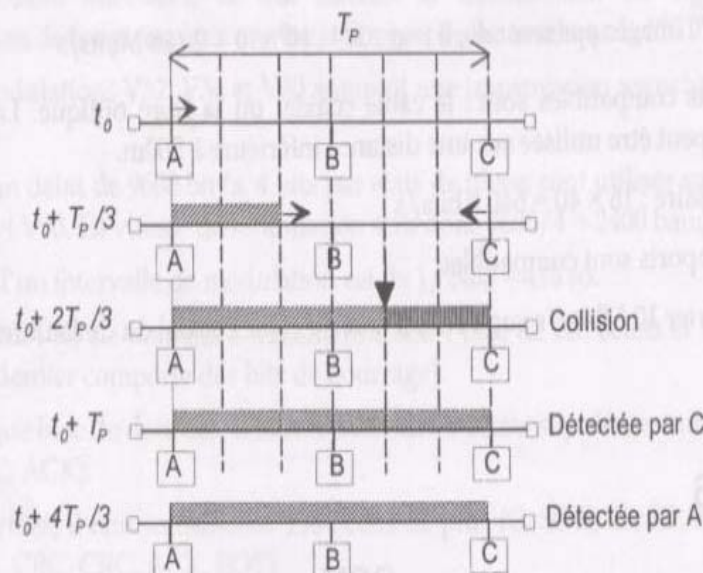
$$2 \times 7 \times 15 / 2.10^8 = 1,05 \mu\text{s}.$$

6.

$$a) t_p \max = \frac{1}{2} \frac{64 \times 8}{10 \cdot 10^6} = 25,6 \mu\text{s}$$

b) Durée minimale d'écoute :  $2 t_p = 51,2 \mu\text{s}$

c) et d)



- On appelle  $T_e$  la durée d'émission de la trame,  $T_s$  le temps de propagation entre deux stations et  $T_p$  le temps de propagation sur l'anneau et de traitement par les stations.

Si la station  $n$  possède le jeton et émet, la station  $n+1$  devra attendre suivant les cas :

$T_e + T_p + T_s$  en cas de libération de la trame après réception complète ;

$T_p + T_s$  en cas de libération après réception de l'en-tête ;

$T_e + T_s$  en cas de libération à la fin d'émission de la trame.

- A 1 Mbit/s la trame peut contenir  $10^6 \times 10^{-2} = 10\,000$  bits = 1 250 octets.  
A 4 Mbit/s la trame peut contenir  $4 \cdot 10^6 \times 10^{-2} = 40\,000$  bits = 5 000 octets.
- Le temps maximum est calculé lorsque les dix stations ont à émettre simultanément. Dans le cas où les priorités associées aux stations ne sont pas identiques, le temps maximum d'attente dépendra de la taille des fichiers à transmettre par les stations de niveaux de priorité supérieurs.



Par contre, si les stations ont toutes le même niveau de priorité, le temps maximum d'attente sera égal au temps nécessaire à neuf stations pour émettre une trame ou à neuf fois le temps de maintien du jeton (THT), soit :

Temps de transmission :  $9 \times 1261 \times 8 / 10^6 = 91 \text{ ms}$ .

Temps de maintien du jeton :  $9 \times 10 \cdot 10^{-3} = 90 \text{ ms}$  (valeur par défaut du THT).

10. Le débit sur les supports du protocole DQDB est de 160 Mbit/s.
11. La station X émet sur le bus B une requête. Ayant reçu deux requêtes, la station X laisse passer deux tranches libres et inscrit ses données dans la troisième.

## Chapitre 7

### Réseaux locaux. Etudes de cas

#### 7.1 L'ARCHITECTURE ETHERNET

##### 7.1.1 Caractéristiques principales

Mise au point dans les années 80 par Xerox, Intel et DEC, l'architecture Ethernet permet l'interconnexion de matériels divers avec de grandes facilités d'extension, les caractéristiques principales sont :

- débit de 10 Mbit/s à 1 Gbit/s ;
- transmission en bande de base, codage Manchester ;
- topologie en bus ;
- méthode d'accès suivant la norme IEE 802.3 (CSMA/CD) ;
- longueur des trames comprise entre 64 et 1 518 octets ;
- support de type câble coaxial, paire torsadée ou fibre optique ;
- gestion des couches 1 et partiellement 2 du modèle OSI (sous-couches PHY et MAC) ;

##### 7.1.2 Eléments d'un réseau Ethernet

La figure 7.1 fait apparaître sur un réseau fictif utilisant tous les types de supports, les principaux éléments Ethernet.

La connexion d'un équipement sur le support se fait par une unité de raccordement au support (MA U : *Medium Access Unit*) appelée *transceiver* dans Ethernet.

Pour un câble coaxial fin, le transceiver est un simple connecteur en « T » et la station est directement connectée au câble ; pour un câble coaxial standard, le *transceiver* est composé d'un connecteur en « T » et d'une adaptation pour un câble d'interface avec la station (câble de *transceiver*).

Pour des liaisons éloignées sur les réseaux Ethernet standard et Ethernet fin, un maximum de deux répéteurs est permis. La longueur totale du câble coaxial standard ne doit pas dépasser 2,5 km (deux segments de 500 m + 1 000 m entre répéteurs éloignés). Cette longueur est de 925 m pour du câble coaxial fin.

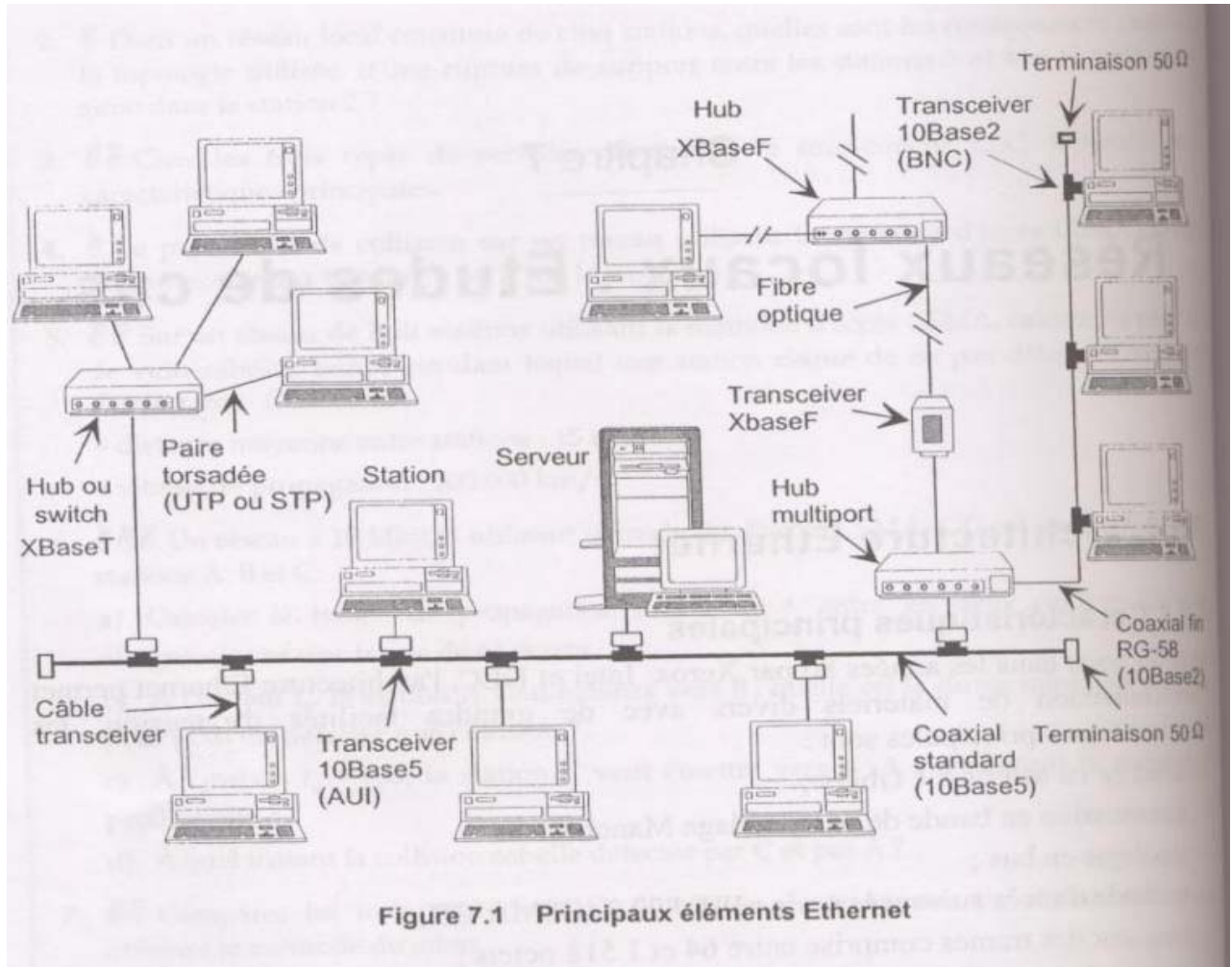


Figure 7.1 Principaux éléments Ethernet

Pour des liaisons sur paires torsadées (10BaseT ou 100BaseT) ou sur fibre optique (10BaseF ou 100BaseF), il est nécessaire d'utiliser des équipements d'interconnexion spécifiques ou **hubs**. Le rôle du **hub** consiste à assurer la communication entre les stations comme si elles étaient reliées à un bus bien que physiquement la topologie soit de type étoile. Il intervient donc uniquement au niveau de la couche 1 du modèle OSI. Pour augmenter le nombre de connexions, les **hubs** (généralement 8, 12, 16 ou 24 ports) peuvent être mis en cascade et disposent dans ce cas d'un port spécifique inversé.

Un autre équipement d'interconnexion, le commutateur Ethernet ou **switch**, possède les mêmes fonctionnalités que le hub et permet en plus de regrouper dans un même segment les stations liées par des trafics importants (plusieurs serveurs sur une dorsale ou un serveur et des stations d'un même groupe de travail) et augmente ainsi la bande passante du réseau (figure 7.2). Le **switch** intervient au niveau des couches 1 et 2. Chaque port à 10 ou 100 Mbit/s fait partie d'un seul domaine de collision et apprend dynamiquement les adresses MAC des équipements qui lui sont connectés. Certains switches reconnaissent automatiquement les ports 10 et 100 Mbit/s (*auto sensing*) et sont configurables à l'aide d'un protocole standard, généralement SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

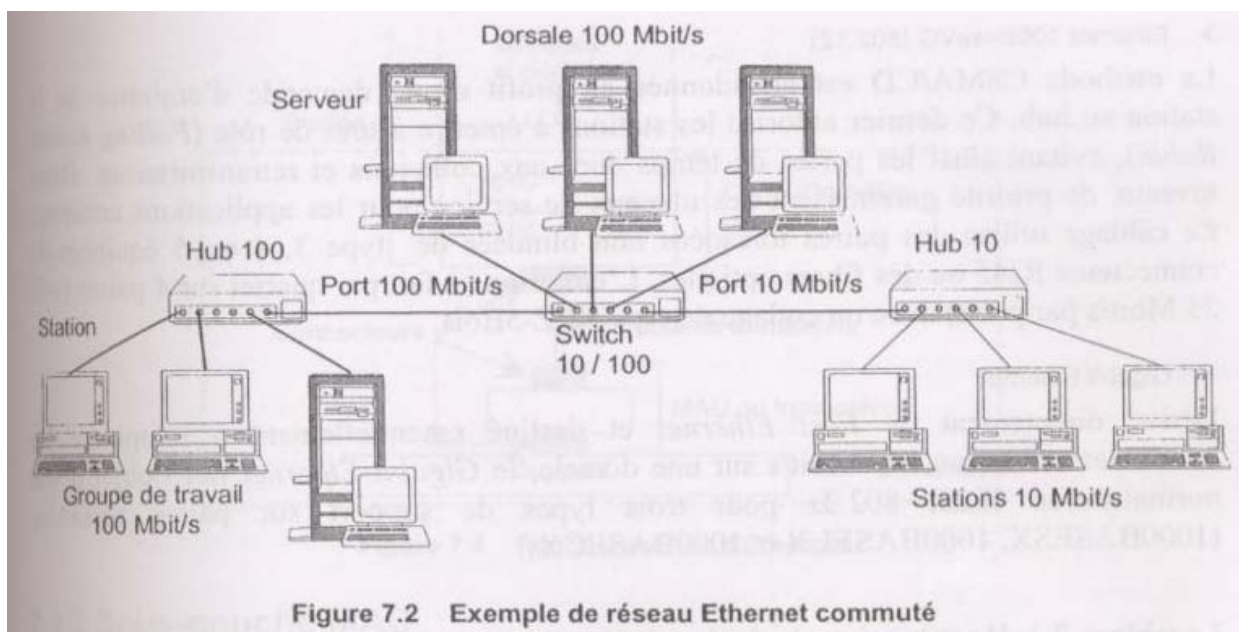
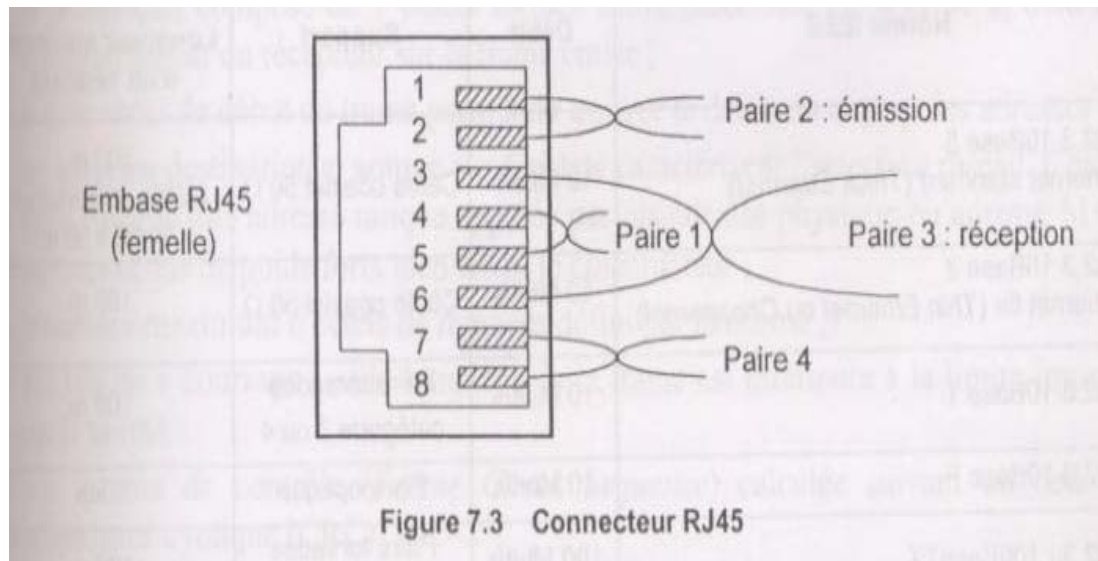


Figure 7.2 Exemple de réseau Ethernet commuté

La liaison en 10BaseT ou 100BaseT au *hub* ou au *switch* est réalisée par des connecteurs à huit contacts de type RJ45 (figure 7.3) et par des câbles de différentes catégories suivant le débit, seules deux paires torsadées par câble sont utilisées : une pour l'émission et une pour la réception. Seul le câble de catégorie 5 non blindé (*UTP - Unshielded Twisted Pairs*) ou blindé (*STP - Shielded Twisted Pairs*) permet d'atteindre des débits de 100 Mbit/s.



*Fast Ethernet (100 Mbit/s) et Gigabit Ethernet (1 Gbit/s)*

#### ➤ **Ethernet 100BaseT (802.3u)**

Directement dérivée du 10BaseT, cette norme reprend la méthode d'accès CSMA/CD avec un codage 4B/5B (représentation sur 5 bits d'une série de 4 bits) et NRZI.

Elle reprend également le câblage avec trois variantes :

- 100BaseTX utilise un connecteur RJ45 et un câble à deux paires de catégorie 5 ;
- 100BaseT4 utilise un connecteur RJ45 et un câble à quatre paires de catégorie 3, 4 ou 5.
- 100BaseFX utilise un câble duplex fibre optique multimode.

#### ➤ **Ethernet 100BaseVG (802.12)**

La méthode CSMA/CD est abandonnée au profit d'une demande d'émission de la station au hub. Ce dernier autorise les stations à émettre à tour de rôle (*Polling Round Robin*), évitant ainsi les pertes de temps dues aux collisions et retransmissions. Deux niveaux de priorité garantissent des niveaux de service pour les applications critiques. Le câblage utilise des paires torsadées non blindées de type 3, 4 ou 5 équipées de connecteurs RJ45 ou des fibres optiques. L'émission se fait par quartet sur 4 paires (soit 25 Mbit/s par paire) avec un codage de type NRZ-5B6B.

#### ➤ **Gigabit Ethernet**

Dérivé directement de *Fast Ethernet* et destiné essentiellement à remplacer les commutateurs 10 ou 100 Mbit/s sur une dorsale, le *Gigabit Ethernet* fait l'objet d'une normalisation IEEE 802.3z pour trois types de support sur paires torsadées (1000BASESX, 1000BASELX et 1000BASECX).

Le tableau 7.1 décrit les six principales classes de transmission. La référence de chacune de ces classes donne le débit, le type de transmission et la longueur maximum d'un segment (exemple : 10Base5 pour 10 Mbit/s, transmission en bande de base, segments de 500 m).



Tableau 7.1 Les classes 802.3

Norme IEEE	Débit	Support	Longueur maximum d'un segment
802.3 10Base 5 Ethernet standard ( <i>Thick Ethernet</i> )	10 Mbit/s	Câble coaxial 50 Ω	500 m (câble de trancheur limité à 50 m)
802.3 10Base 2 Ethernet fin ( <i>Thin Ethernet</i> ou <i>Cheapernet</i> )	10 Mbit/s	Câble coaxial 50 Ω	185 m
802.3 10Base T	10 Mbit/s	Paire torsadée catégorie 3 ou 4	100 m
802.3 10Base F	10 Mbit/s	Fibre optique	2 km
802.3u 100BaseTX	100 Mbit/s	Paire torsadée catégorie 5	100 m
802.3u 100BaseT4	100 Mbit/s	Paire torsadée catégorie 3 ou 4	100 m
802.3u 100BaseFX	100 Mbit/s	Fibre optique	2 km
802.12 100BaseVG	100 Mbit/s	Paire torsadée Fibre optique	100 m 2 km

Les fonctionnalités d'Ethernet correspondent aux deux sous-couches PHY et MAC définies par la norme IEEE 802.3 en liaison avec le support via l'unité de raccordement MAU (figure 7.4).

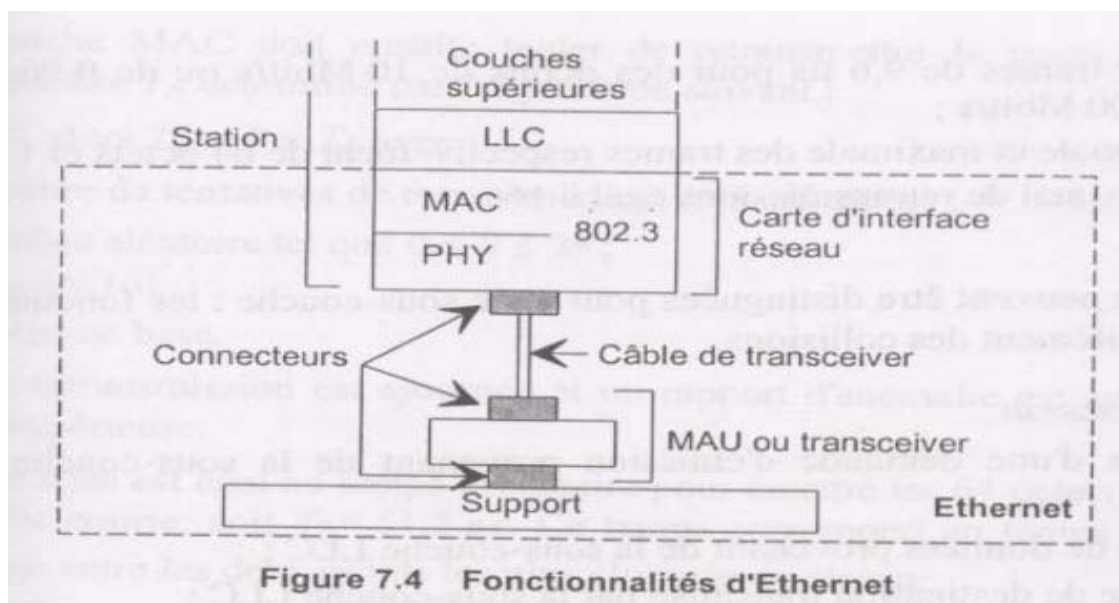


Figure 7.4 Fonctionnalités d'Ethernet

### 7.1.3 Sous-couche MAC

La sous-couche MAC gère l'accès au support selon les principes CSMA/CD de la norme IEEE 802.3 et offre un ensemble de services à la sous-couche LLC.

#### a) Trame 802.3

Le bloc d'information ou trame (MAC PDU : *MAC Protocol Data Unit*) est composé de huit champs (tableau 7.2) :

- le préambule, composé de 7 octets formés d'une succession de 0 et de 1, assure la synchronisation du récepteur sur la trame émise ;

- le délimiteur de début de trame permet de trouver le début du champ des adresses ;
- les adresses destination et source sur 6 octets caractérisent l'interface réseau. Chaque carte possède une adresse unique appelée parfois adresse physique ou adresse MAC, les trois octets de poids forts identifient le constructeur ;
- le nombre maximum d'octets de données défini par la norme ;
- des bits de « bourrage » si la longueur de la trame est inférieure à la limite imposée par la norme ;
- une somme de contrôle (*Frame Check Sequence*) calculée suivant un code de redondance cyclique (CRC).

**Tableau 7.2 Structure de la trame 802.3**

0101.0101	10101011						
Préambule	Délimiteur trame	Adresse destination	Adresse source	Longueur des données	Données	Bourrage	FCS
7 octets	1 octet	6 octets	6 octets	2 octets	46 à 1 500 octets		4 octets

La norme 802.3 fixe également les valeurs par défaut des principaux paramètres de fonctionnement :

- temps de base (slot time) égal à la durée d'émission de 512 bits (ce temps sert de base aux différents temporisateurs utilisés) ;
- temps inter-frames de 9,6  $\mu$ s pour des débits de 10 Mbit/s ou de 0,96  $\mu$ s pour des débits de 100 Mbit/s ;
- tailles minimale et maximale des trames respectivement de 64 octets et 1 518 octets ;
- nombre maximal de retransmissions égal à 16.

Trois fonctions peuvent être distinguées pour cette sous-couche : les fonctions émission, réception et traitement des collisions.

### **b) Fonction émission**

À la réception d'une demande d'émission provenant de la sous-couche LLC, cette fonction doit :

- lire un bloc de données provenant de la sous-couche LLC ;
- lire l'adresse de destination transmise par la sous-couche LLC ;
- fabriquer la trame (adresses, longueur des données, données, CRC) ;
- attendre l'indication d'absence de porteuse provenant de la sous-couche PHY ;
- émettre la trame ;
- indiquer le succès de la transmission à la sous-couche LLC ou, le cas échéant, traiter la collision signalée par la sous-couche PHY.

Ces séquences sont répétées jusqu'à ce que toutes les données soient transmises. Pour cela, les blocs de données sont retirés de la file d'attente de la sous-couche LLC au furet à mesure de la transmission des trames.

### **c) Fonction réception**

La lecture des trames passant sur le support est effectuée en permanence. Lorsqu'une trame est lue, la fonction réception exécute les séquences suivantes :

- lecture de la trame ;
- décodage de l'adresse de destination ;
- comparaison de celle-ci et de l'adresse de la station ;
- si les deux adresses sont identiques :
  - 1) vérification du CRC ;
  - 2) vérification de la longueur de trame ;
  - 3) envoi d'un état de réception à la sous-couche LLC ;

4) si le CRC et la longueur sont valides :

- > communication des données à la sous-couche LLC ;
- > communication de l'adresse source à la sous-couche LLC.

#### d) Fonction traitement de collisions

Dans le cas où une identification de collision est transmise par la sous-couche PHY, la sous-couche MAC doit, dans un premier temps, transmettre une séquence de bourrage (*jam*) permettant de prolonger la collision pour que toutes les stations en émission puissent la détecter.

La sous-couche MAC doit ensuite tenter de retransmettre la trame après un délai d'attente aléatoire  $T_a$  déterminé par l'algorithme suivant :

- si  $N \leq 16$  alors  $T_a = R \times T_b$  avec :

$N$  : nombre de tentatives de retransmission déjà effectuées ;

$R$  : nombre aléatoire tel que  $0 \leq R \leq 2^k$  ;

$k = \min(N, 10)$  ;

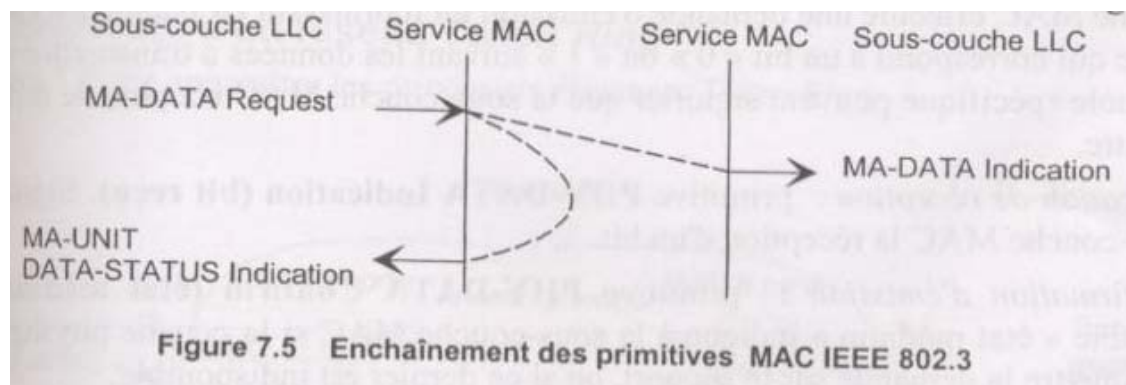
$T_b$  : temps de base.

- sinon la retransmission est ajournée et un rapport d'anomalie est communiqué à la couche supérieure.

Le temps de base est égal au temps nécessaire pour émettre les 64 octets (512 bits) de la trame la plus courte, soit  $T_b = 51,2 \mu s$ . Ce temps correspond au temps de propagation aller et retour entre les deux points les plus éloignés du réseau.

#### e) Services offerts par la sous-couche MAC

Les services fournis par la sous-couche MAC à la sous-couche LLC permettent le dialogue entre entités LLC. Ils sont accessibles via les primitives décrites à la figure 7.5.



- *Demande d'émission de données* : primitive **MA-DATA Request** (**adresse destination, unité données**). Pour émettre une trame, la sous-couche LLC fournit l'adresse de destination et un pointeur sur l'unité de données à émettre.

- *Indication de réception* : primitive **MA-DATA Indication** (**adresse source, unité données, état réception**). La sous-couche LLC de la station destination est avertie via cette primitive de la réception d'une trame. La sous-couche MAC communique alors à la sous-couche LLC l'adresse de la station émettrice, un pointeur sur les données reçues, et un état de réception indiquant si la longueur de trame et le CRC sont conformes.

- *Compte rendu d'émission* : primitive **MA-UNIT-DATA-STATUS Indication** (**état transmission**). La sous-couche MAC indique à la sous-couche LLC si la transmission des données sur le support a eu lieu, et lui signale une éventuelle anomalie d'émission ou si le seuil maximum (le retransmission est atteint).

#### 7.1.4 Sous-couche PHY

La sous-couche physique conforme à la norme 802.3 est fondée sur l'utilisation des éléments suivants :

- le support ;
- l'unité de raccordement au support (MAU ou *transceiver*) ;
- l'interface entre le *transceiver* et la station ;
- le répéteur ou le hub.

Les fonctions réalisées par le *transceiver* sont les suivantes :

- émission et réception de signaux sur le support suivant le codage Manchester ;
- détection de présence de signaux sur le support ;
- détection de collision.



La détection de collision se fait par écoute du support : lorsque la tension sur le câble est plus élevée que la tension maximale pouvant être générée par un seul *transceiver*, une collision est détectée.

### a) Services offerts par la sous-couche PHY

Les services fournis par la sous-couche physique 802.3 sont accessibles via les primitives décrites figure 7.6.

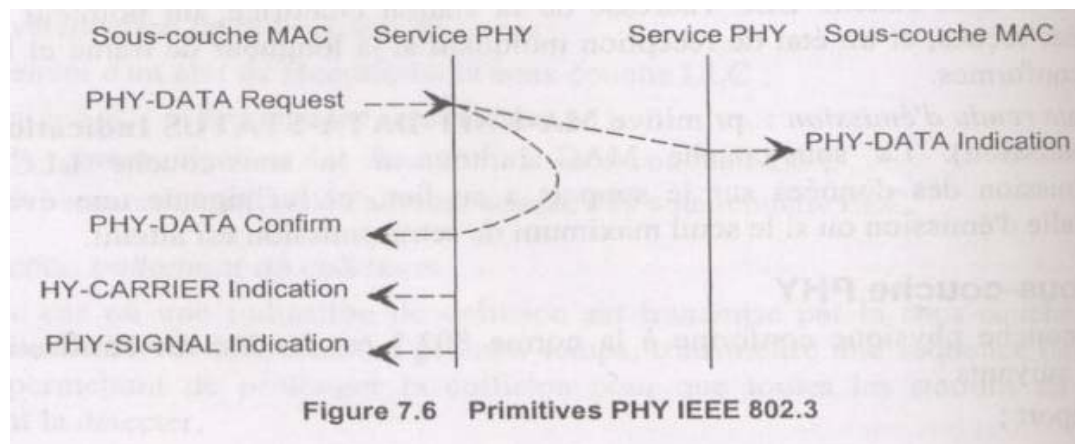
- *Demande d'émission* : primitive **PHY-DATA Request (unité de sortie)**. La sous-couche MAC effectue une demande d'émission en fournissant en paramètre l'unité de sortie qui correspond à un bit « 0 » ou « 1 » suivant les données à transmettre ou à un symbole spécifique pouvant signifier que la sous-couche MAC n'a plus de données à émettre.

- *Indication de réception* : primitive **PHY-DATA Indication (bit reçu)**. Signale à la sous-couche MAC la réception d'un bit.

- *Confirmation d'émission* : primitive **PHY-DATA Confirm (état médium)**. La variable « état médium » indique à la sous-couche MAC si la couche physique a pu transmettre la demande sur le support, ou si ce dernier est indisponible.

- *Transfert de l'état du support* : primitive **PHY-CARRIER Indication (état porteuse)**. Signale à la sous-couche MAC la présence ou l'absence de porteuse.

- *Indication d'erreur* : primitive **PHY-SIGNAL (état erreur)**. Indique à la sous-couche MAC une collision ou un signal impropre sur le support. Elle prévient la sous-couche MAC lorsque le support revient à son état de fonctionnement normal.



## 7.2 L'ARCHITECTURE TOKEN RING

### 7.2.1 Caractéristiques principales

Développée par IBM et standardisée par l'IEEE, l'architecture *Token Ring* présente les caractéristiques suivantes :

- débit de 4 à 16 Mbit/s ;
- transmission en bande de base, codage biphase différentiel (Manchester différentiel) ;
- topologie en anneau logique et en étoile physique (utilisation d'interfaces multiports) ;
- méthode d'accès suivant la norme IEEE 802.5 ;

- longueur maximale des trames de 5 000 octets ;
- gestion des couches 1 et 2 du modèle OSI (sous-couches PHY, MAC et LLC) ;
- support de type paire torsadée simple ou blindée, fibre optique ;

### 7.2.2 Eléments d'un réseau Token Ring

La figure 7.7 fait apparaître les principaux éléments *Token Ring*.

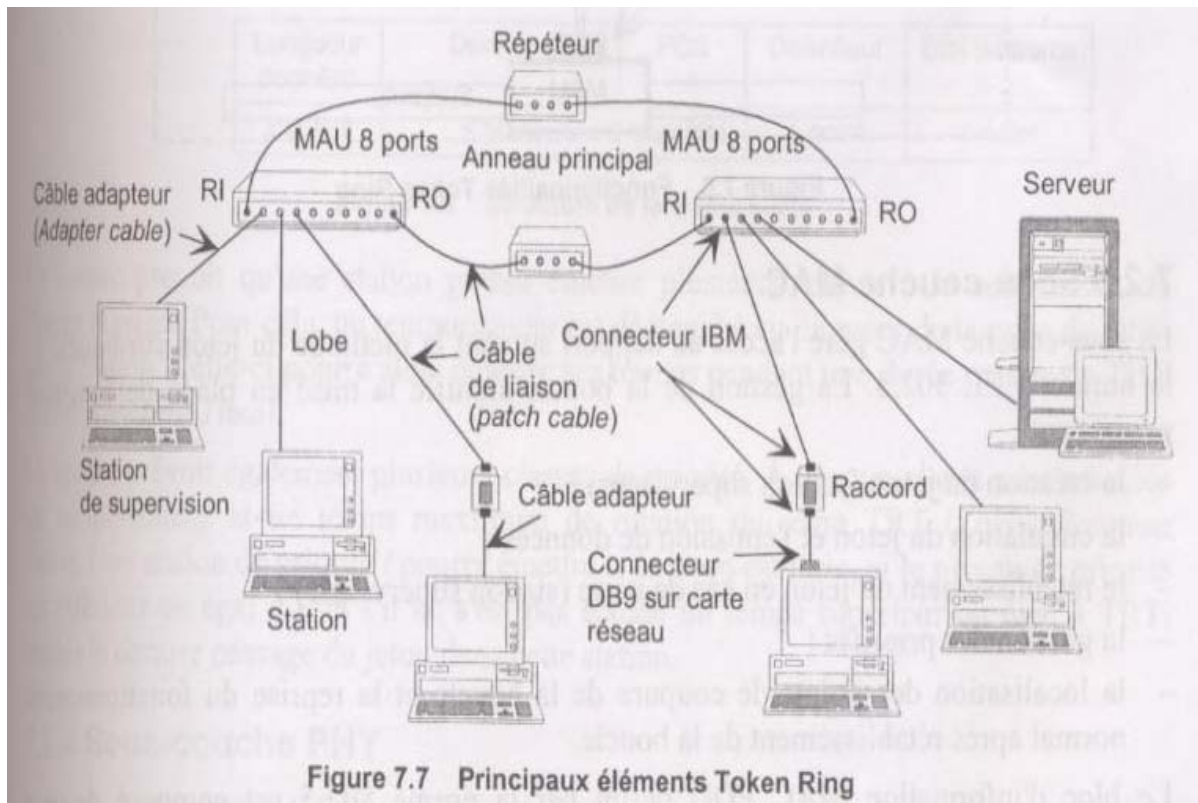


Figure 7.7 Principaux éléments Token Ring

Le MAU (*Medium Access Unit*) fonctionne comme un *hub* auquel sont attachés des noeuds. Les MAU sont en général disponibles dans une configuration huit accès. Un modèle huit ports comporte huit connecteurs de lobe (liaison MAU-PC) sur lesquels les stations sont branchées. Les MAU sont connectés entre eux au moyen d'un port d'entrée *RI* (*Ring In*) et d'un port de sortie (*Ring Out*). Ils sont de plus munis d'un dispositif permettant de contourner la station lorsque celle-ci est inactive. Le répéteur permet d'étendre les distances de lobe et d'anneau suivant le type de câblage utilisé (type 1 : paires torsadées blindées, type 3 : paires torsadées non blindées, type 5 : fibre optique).

Les fonctionnalités *Token Ring* correspondent aux trois sous-couches PHY, MAC et LLC (figure 7.8). Les sous-couches MAC et PHY définies par la norme IEEE 802.5 fournissent des services à la sous-couche supérieure ainsi qu'un ensemble de services nécessaires à la gestion du réseau (gestion du jeton, émission et réception des données, gestion des priorités...).

La norme 802.2 qui définit les protocoles et services de la sous-couche LLC n'est pas spécifique au réseau *Token Ring*.

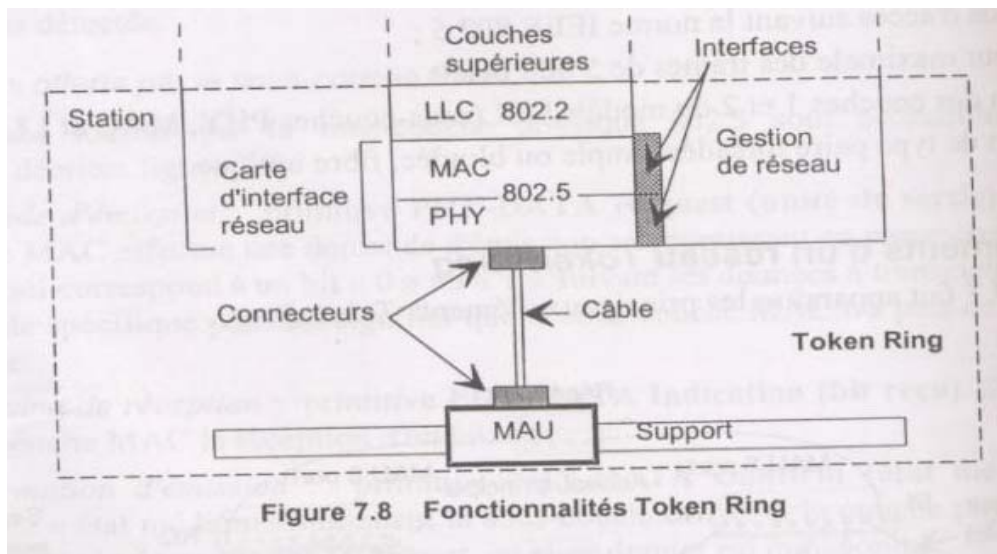


Figure 7.8 Fonctionnalités Token Ring

### 7.2.3 Sous-couche MAC

La sous-couche MAC gère l'accès au support suivant la méthode du jeton sur boucle de la norme IEEE 802.5. La gestion de la boucle signifie la mise en place de fonctions permettant :

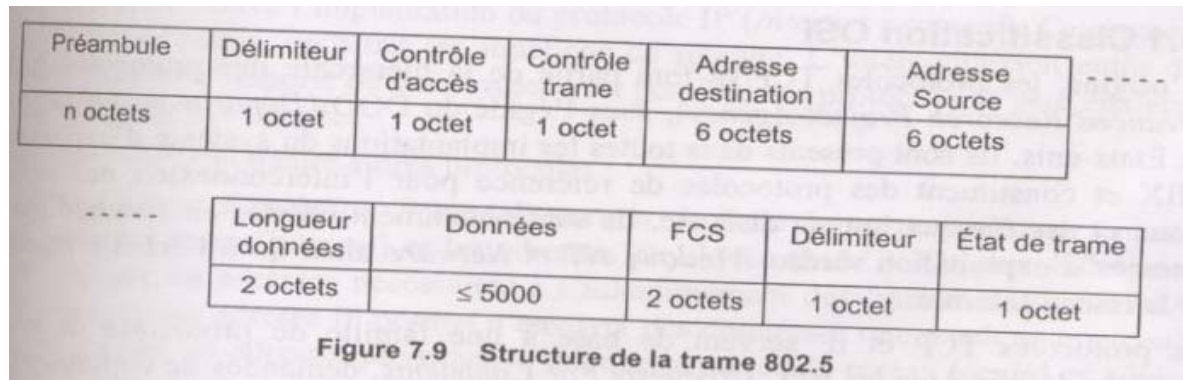
- la création du jeton (station superviseur) ;

- la circulation du jeton et l'émission de données ;
- le rétablissement du jeton en cas de perte (station superviseur) ;
- la gestion des priorités ;
- la localisation des points de coupure de la boucle et la reprise du fonctionnement normal après rétablissement de la boucle.

Le bloc d'information MAC PDU défini par la norme 802.5 est composé de onze champs (figure 7.9) :

- le préambule est composé d'un nombre variable d'octets dont la durée minimum de transmission est de 2  $\mu$ s ;
- les délimiteurs de début et de fin de trame qui comportent une combinaison de 0, de 1 et de bits *non data J et non data K* présentant un codage différent (voir sous-couche PHY) ;
- un octet de contrôle d'accès contenant le jeton, les priorités de trame et de réservation ;
- un octet de contrôle de trame qui permet de gérer la boucle (test d'adresse dupliquée, indication de défaillance...) ;
- les adresses destination et source sur 6 octets qui identifient de manière unique les stations ;
- la longueur des données sur 2 octets ;
- les données, la taille d'une trame est limitée 5 000 octets ;
- une somme de contrôle de trame (*Frame Check Sequence*) calculée suivant un code de redondance cyclique (CRC) ;
- un octet d'état de la trame (*Frame Status*) indiquant si le destinataire a reconnu son adresse et copié les données.

Pour une trame vide (« un jeton »), seuls les délimiteurs et l'octet de contrôle d'accès contenant le jeton (bit J positionné à 0) sont présents.



La norme prévoit qu'une station puisse émettre plusieurs trames à la suite avant de libérer le jeton. Pour cela, un temporisateur est déclenché au moment de la prise du jeton par la station. Celle-ci pourra alors émettre ses trames pendant une durée maximale THT (*Token Holding Time*).

La norme prévoit également plusieurs classes de priorité. À chaque classe sont associés un temporisateur et un temps maximum de rotation du jeton TRT (*Token Rotation Time*). Une station de priorité *i* pourra émettre si le jeton est libre, si le niveau de priorité est inférieur ou égal à *i*, et s'il ne s'est pas écoulé un temps supérieur ou égal à TRT<sub>*i*</sub> depuis le dernier passage du jeton dans cette station.

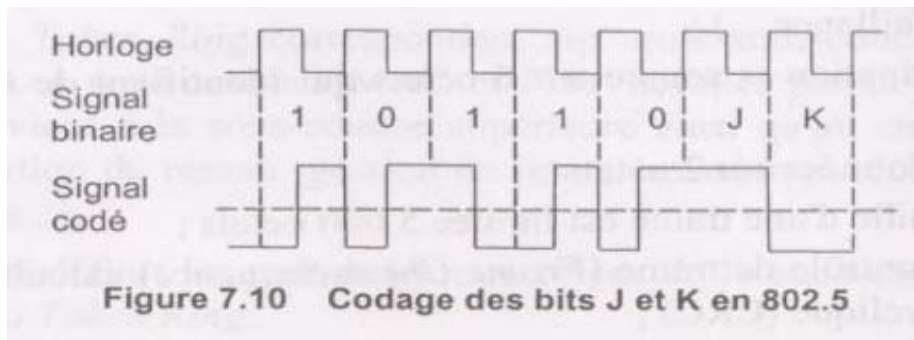
#### 7.2.4 Sous-couche PHY

La norme IEEE 802.5 définit au niveau de la couche physique :

- le type de codage et de transmission de l'information ;
- les règles de raccordement au support ;
- la synchronisation de la boucle ;
- les services offerts à la sous-couche MAC ;
- les services à la couche gestion du réseau.

Les informations sont codées en Manchester différentiel et transmises en bande de base. Les délimiteurs de trames utilisent de plus pour les bits J et K un codage particulier (figure 7.10).





### 7.3 LES PROTOCOLES TCP/IP (TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL/INTERNET PROTOCOL)

#### 7.3.1 Classification OSI

A l'origine, les protocoles TCP/IP font partie de la hiérarchie des protocoles ARPA (*Advanced Research Project Agency*), sous l'égide du DOD (*Department Of Defense*) aux États-unis. Ils sont présents dans toutes les implantations du système d'exploitation UNIX et constituent des protocoles de référence pour l'interconnexion des réseaux locaux et des réseaux longue distance. Ils sont notamment utilisés en standard par les systèmes d'exploitation réseau *Windows NT* et *Netware* ainsi qu'à l'échelle mondiale par le réseau Internet.

Les protocoles TCP et IP servent de base à une famille de protocoles de niveau supérieur définis dans les RFC (*Requests For Comments*, demandes de commentaires), documents publiés par des organismes spécialisés. Chaque protocole ou procédure lié à TCP/IP fait l'objet d'une RFC référencée : RFC 791 pour IP, RFC 854 pour Telnet... Ces protocoles sont antérieurs aux travaux de normalisation de l'OSI, mais une correspondance est généralement admise (tableau 7.3).

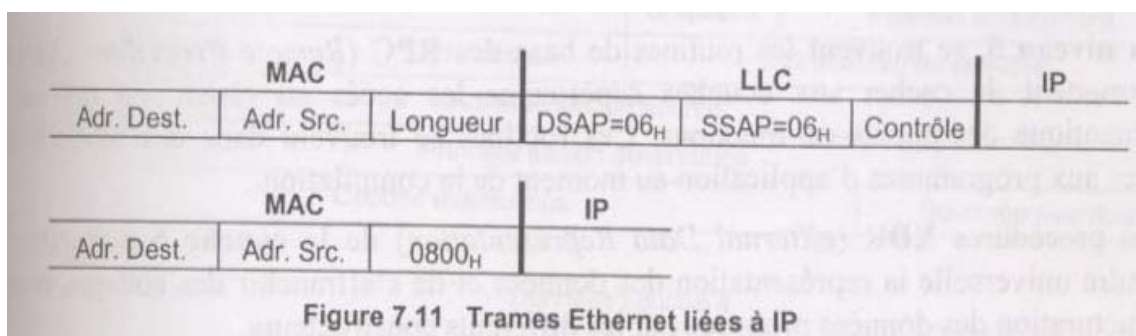
Tableau 7.3 Architectures DOD et OSI des protocoles TCP/IP

DOD							OSI
<i>Process</i>	Telnet	FTP	NFS	SMTP	SNMP	HTTP	Niveaux 5, 6 et 7
		RPC			XDR		
<i>Host to Host</i>	TCP		UDP				Niveau 4
<i>Internet</i>	ICMP	RIP	IP	ARP	RARP		Niveau 3
<i>Network Access</i>	Ethernet	FDDI	Arpanet	SLIP	PPP		Niveaux 1 et 2

**Aux niveaux 1 et 2**, se trouvent les protocoles liés aux architectures Ethernet, Arpanet ou autres. Les identifiants des sous-couches MAC et LLC peuvent prendre deux valeurs distinctes suivant l'architecture utilisée (figure 7.11).

Pour une architecture type 802.3, les champs DSAP et SSAP de la sous-couche LLC prennent la valeurs  $06_H$  pour indiquer le protocole IP au niveau supérieur.

Pour une architecture type Ethernet H, la sous-couche LLC n'existe pas, le protocole IP est indiqué directement dans le champ longueur de la sous-couche MAC par la valeur  $0800_H$ .



Les procédures **SLIP** (*Serial Line Internet Protocol*) et **PPP** (*Point to Point Protocol*) sont des cas particuliers permettant d'adapter le réseau ou le poste de travail à une communication série asynchrone par l'intermédiaire d'un modem avec un serveur distant (cas du réseau Internet).

**Au niveau 3**, se trouve l'implantation du protocole IP (*Internet protocol*). Ce protocole, en mode datagramme, va offrir les fonctions de routage. L'interconnexion entre deux machines situées n'importe où sur le réseau est possible. Le protocole IP gère également la fragmentation des données.

La couche 3 contient quatre autres protocoles :

- **ARP** (*Address Resolution Protocol*) permet de faire la correspondance entre les adresses logiques (Internet) et les adresses physiques (MAC). Ce protocole permet de masquer les adresses nécessaires à l'acheminement des trames de niveau MAC. En effet, si une adresse IP permet d'envoyer des données à une machine quelconque sur le réseau, les adresses physiques n'ont que la portée du réseau local. Les adresses MAC sont aussi par construction uniques (numéro du constructeur, numéro de fabrication), mais leur allocation peut être vue comme aléatoire sur le réseau. Les adresses IP sont, elles, logiquement distribuées. Il est donc plus simple pour l'administrateur réseau de référencer ces machines avec une adresse IP. Les mécanismes ARP permettent de faire la recherche de l'adresse MAC correspondante.

- **RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*) permet d'établir la correspondance entre les adresses physiques (MAC) et les adresses logiques (Internet). Ce protocole peut être utile, par exemple, lorsqu'une station sans disque veut connaître, au démarrage, son adresse Internet à partir de la seule information dont elle dispose, c'est-à-dire de l'adresse MAC qu'elle peut lire sur son coupleur.

- **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) n'est pas à proprement parlé un protocole de niveau 3, puisqu'il utilise l'encapsulation IP. Mais il sert à la gestion du protocole IP, il permet, par exemple, de collecter les erreurs qui surviennent lors de l'émission de messages (réseau coupé, échéances temporelles...).

- **RIP** (*Routing Information Protocol*) est un protocole de routage utilisant le principe de la multidiffusion. Les routeurs utilisant RIP diffusent périodiquement leurs tables de routage aux autres routeurs du réseau.

**Au niveau 4**, se trouve le protocole **TCP** (*Transmission Control Protocol*) qui offre aux utilisateurs un transfert fiable sur connexion et le protocole **UDP** (*User Datagram Protocol*) qui offre un transfert en mode datagramme.

**Au niveau 5**, se trouvent les routines de base des **RPC** (*Remote Procedure Call*) qui permettent de cacher aux couches supérieures les accès au réseau en utilisant la sémantique des appels de fonctions. Ces routines se trouvent dans des bibliothèques liées aux programmes d'application au moment de la compilation.

Les procédures **XDR** (*eXternal Data Representation*) de la **couche 6** permettent de rendre universelle la représentation des données et de s'affranchir des codages et de la structuration des données proposée par les différents constructeurs.

**Le niveau 7** regroupe les différentes applications courantes dans le monde UNIX :

- Telnet (*Terminal Emulation Protocol*) pour la connexion et l'émulation de terminal;
- FTP (*File transfert Protocol*) pour le transfert de fichiers ;
- NFS (*Network File Server*) pour la gestion de fichiers ;
- SNMP (*Simple Network Management Protocol*) pour l'administration et la gestion des machines du réseau ;
- SMTP (*Simple Mail Transfert Protocol*) pour les services de courrier électronique;
- HTTP (*HyperText Transmission Protocol*) pour des recherches d'informations en mode hypertexte.

### 7.3.2 Le protocole IP (*Internet Protocol*)

Le protocole Internet est un protocole de niveau réseau. Il est responsable de :

- la transmission des données en mode sans connexion ;
- l'adressage et le routage des paquets entre stations par l'intermédiaire de routeurs;
- la fragmentation des données.

Lors de l'émission, les fonctionnalités assurées sont :

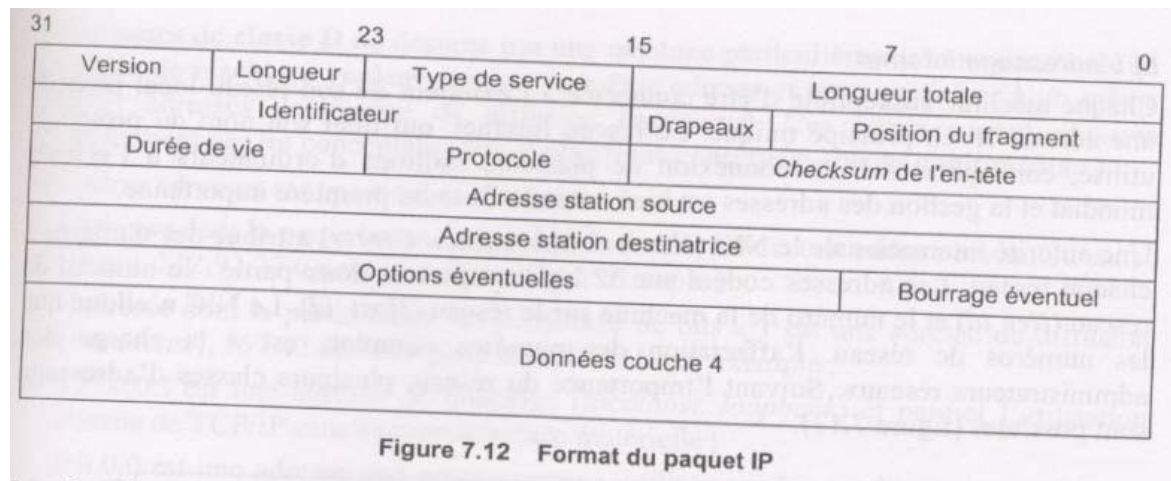
- identification du paquet ;
- détermination de la route à suivre (routage) ;
- vérification du type d'adressage (station ou diffusion) ; fragmentation de la trame si nécessaire.

À la réception, les fonctionnalités sont :

- vérification de la longueur du paquet ;
- contrôle des erreurs ;
- réassemblage en cas de fragmentation ;
- transmission du paquet réassemblé au niveau supérieur.

### a) Format du paquet

Le paquet IP, ou datagramme IP, est organisé en champs de 32 bits (figure 7.12).



Les fonctionnalités IP se retrouvent dans chaque groupement de bits de l'en-tête.

- Version : numéro de version du protocole IP (actuellement 4).
- Longueur : longueur de l'en-tête codée sur 4 bits et représentant le nombre de mots de 32 bits (généralement 5).
- Type de service (TOS) : désigne la qualité de service qui doit être utilisée par le rouleur. Par exemple, pour un transfert de fichier important, il est préférable de privilégier le débit par rapport au délai de transmission. Pour une session interactive, le délai de propagation sera primordiale.
- Longueur totale : longueur totale du fragment (en-tête et données) exprimée en nombre d'octets.

Identificateur : identifie le paquet pour la fragmentation (tous les fragments d'un même paquet portent le même numéro).

- Drapeaux : gère la fragmentation sur 3 bits suivant le format :

- DF MF ;
- le bit DF (*Don't Fragment*) demande au routeur de ne pas fragmenter le paquet ;
- Le bit MF (*More Fragment*) est positionné à 1 dans tous les fragments, sauf le dernier.

- Position du fragment : indique par multiple de 8 octets la position du fragment dans le paquet courant. Tous les fragments du paquet, sauf le dernier, doivent donc avoir pour longueur des multiples de 8 octets. Avec un codage sur 13 bits, le maximum pour un paquet est de 8192 fragments.

- Durée de vie (TTL, *Time to live*) : indique le temps en secondes pendant lequel un paquet peut rester dans le système. Si ce champ contient la valeur 0, alors le paquet doit être détruit. Sa valeur est décrétementée à chaque passage dans un routeur même si le temps de traitement est inférieur à une seconde. La valeur par défaut est de 128 ou 256.

- Protocole : numéro du SAP destinataire du paquet, indique le protocole de la couche supérieure (1 pour ICMP, 6 pour TCP, 17 pour UDP).

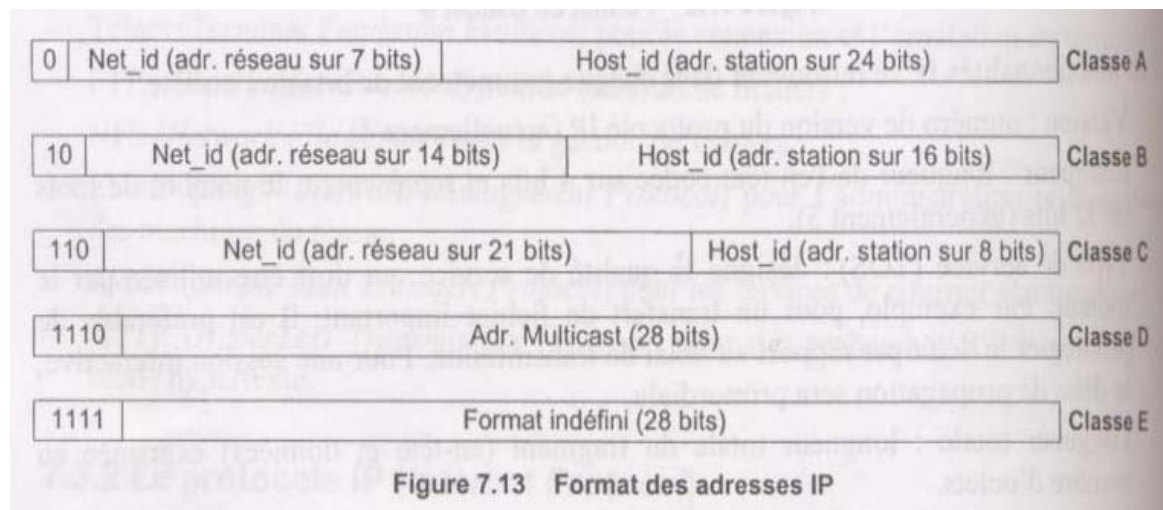
- Options : utilisées pour le contrôle ou la mise au point.

### b) L'adressage Internet

Chaque machine susceptible d'être connectée à l'extérieur de son réseau local possède une adresse IP en principe unique. Le réseau Internet, qui tient son nom du protocole utilisé, correspond à l'interconnexion de plusieurs millions d'ordinateurs à l'échelle mondiale et la gestion des adresses est bien entendu de toute première importance.



Une autorité internationale le NIC (*Network Information Center*) attribue des numéros à chaque réseau. Les adresses codées sur 32 bits comportent deux parties : le numéro de réseau (*Net\_id*) et le numéro de la machine sur le réseau (*Host\_id*). Le NIC n'alloue que les numéros de réseau. L'affectation des numéros complets est à la charge des administrateurs réseaux. Suivant l'importance du réseau, plusieurs classes d'adressage sont possibles (figure 7.13).



Les adresses sur 32 bits sont exprimées par octet (soit quatre nombres compris entre 0 et 255) notées en décimal et séparées par des points : 137.15.223.2.

Les différentes classes d'adresse correspondent donc à des nombres appartenant aux plages suivantes :

- classe A : 1.0.0.0 à 126.0.0.0, soit 126 réseaux ( $2^{8-1} - 2$ ) et 16 777 214 machines par réseau ( $2^{32-8} - 2$ ) ;
- classe B : 128.1.0.0 à 191.254.0.0, soit 16 382 réseaux ( $2^{16-2} - 2$ ) et 65535 machines par réseau ( $2^{32-16} - 2$ ) ;
- classe C : 192.0.1.0 à 223.255.254.0, soit 2 097 150 réseaux ( $2^{24-3} - 2$ ) et 254 machines par réseau ( $2^{32-24} - 2$ ) ;
- classe D : 224.0.0.1 à 239.255.255.255, soit 268 435 455 adresses de groupe ( $2^{32-4} - 1$ ) ;
- classe E : 240.0.0.0 à 255.255.255.254.

**La classe A** représente donc les réseaux de grande envergure (ministère de la défense, réseaux d'IBM, AT&T, DEC...) dont la plupart se trouvent aux États-Unis. **La classe B** désigne les réseaux moyens (universités, centres de recherches...).

La **classe C** représente les petits réseaux régionaux, les PME/PMI et en règle générale les sites comprenant moins de 254 machines.

Les adresses de **classe D** ne désignent pas une machine particulière sur le réseau, mais un ensemble de machines voulant partager la même adresse et ainsi participer à un même groupe : adresses de groupe de diffusion (*multicast*). Ces adresses sont choisies arbitrairement par les concepteurs des applications concernées (News, multimédia...).

Les autres adresses sont particulières ou réservées :

- l'adresse dont la partie basse est constituée de bits à 0 est une adresse réseau ou sous-réseau, 212.92.27.0 pour une classe C par exemple ;
- l'adresse dont la partie basse est constituée de bits à 1 est une adresse de diffusion (*broadcast*), 157.42.255.255 pour une classe B par exemple ;
- 127.0.0.1 est une adresse de bouclage (*localhost, loopback*) et permet l'utilisation interne de TCP/IP sans aucune interface matérielle ;
- 0.0.0.0 est une adresse non encore connue, utilisée par les machines ne connaissant pas leur adresse IP au démarrage ;

- pour chaque classe, certaines plages d'adresses sont réservées à un usage privé: 10.0.0.0, 172.16.0.0 à 172.31.0.0, 192.168.0.0. à 192.168.255.0.

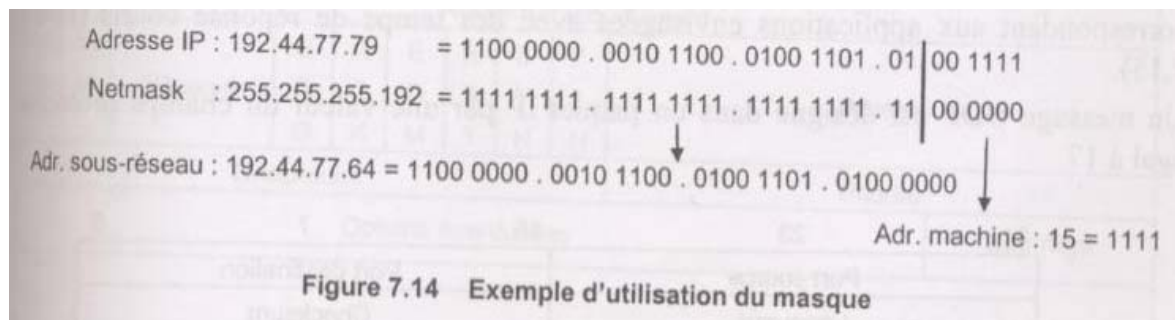
Le nombre d'attribution d'adresses IP a suivi ces dernières années une croissance presque exponentielle, ce qui a conduit à une saturation. Une nouvelle norme IPV6 doit remplacer la version 4 actuelle du protocole IP et offrira un codage des adresses sur 128 bits.

### c) Le masque de réseau (*Netmask*)

La partie de l'adresse Internet administrée localement (*host\_id*) peut être découpée en deux parties: une adresse de sous-réseau et une adresse de numéro de machine.

Le système d'exploitation doit déterminer l'information désignant le sous-réseau et l'information désignant la machine. Cette structuration est employée, par exemple, dans les algorithmes de routage pour savoir si deux machines se trouvent sur le même sous-réseau.

Un masque de sous réseau ou *netmask* a le même format qu'une adresse Internet. Les bits à 1 désignent la partie sous réseau de l'adresse et les bits à 0 la partie numérotation des machines sur le sous-réseau (figure 7.14). Il n'y a aucune raison pour que les bits à 1 soient contiguës, mais le non-respect de cette règle entraînerait des difficultés de gestion inutiles.



Dans cet exemple de réseau de classe C, les 2 bits de poids fort des 8 bits disponibles sont utilisés pour identifier le sous-réseau. Il est ainsi possible de distinguer 4 adresses de sous-réseaux (192.44.77.0, 192.44.77.64, 192.44.77.128, 192.44.77.192).

Le masquage peut servir à séparer localement deux sous-réseaux correspondant à des entités différentes (administration, services techniques...), ces derniers seront invisibles de l'extérieur.

Masques de sous-réseau par défaut pour les classes standards :

- classe A : 255.0.0.0
- classe B : 255.255.0.0
- classe C : 255.255.255.0

### d) Le protocole DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)

DHCP est un protocole de configuration dynamique d'hôte qui permet d'allouer à la demande des adresses IP aux machines se connectant au réseau. Il présente les avantages suivants :

- une gestion centralisée des adresses IP ;
- les ordinateurs clients ne requièrent pas de configuration IP manuelle ;
- le nombre d'adresses IP disponibles peut être supérieur au nombre de machines du réseau.

Un serveur DHCP est configuré dans le réseau, il possède une table d'adresses IP valides localement et attribue dynamiquement une adresse IP disponible à une nouvelle machine se connectant au réseau. La base de données du serveur DHCP contient les informations suivantes :

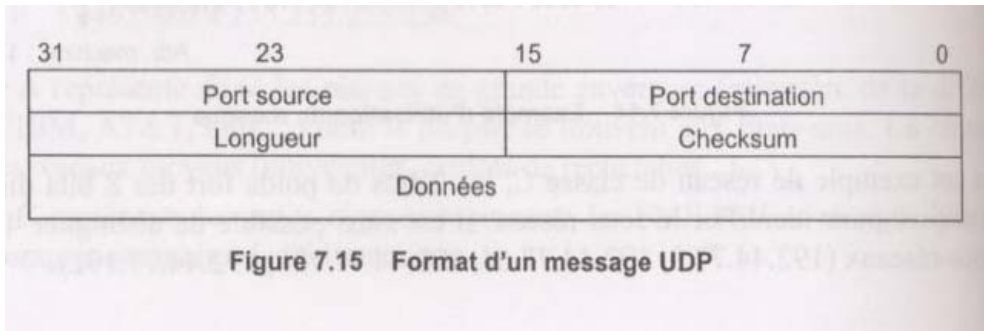
- une table d'adresses IP valides et des adresses IP réservées qui seront affectées manuellement ;
- des paramètres de configuration valides pour tous les clients du réseau (masques, adresses particulières...) ;
- la durée des baux (le bail définit la période de temps durant laquelle l'adresses IP attribuée peut être utilisée).

### 7.3.3 Le protocole UDP (*User Datagram Protocol*)

UDP est un protocole sans connexion et permet à une application d'envoyer des messages à une autre application avec un minimum de fonctionnalités (pas de garanties d'arrivée, ni de contrôle de séquençement).

Il n'apporte pas de fonctionnalités supplémentaires par rapport à IP et permet simplement de désigner les numéros de port correspondant aux applications envisagées avec des temps de réponse courts (figure 7.15).

Un message UDP est désigné dans un paquet IP par une valeur du champ protocole égal à 17.



- Le port source et le port destination permettent de référencer les applications qui s'exécutent sur les machines locales et distantes. Les numéros de port des applications UNIX usuelles (*process*) sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 7.4 Numéros de port UDP et TCP usuels**

N° de port	7	20	21	23	25	37	80	110	161
Process	Echo	FTP-data	FTP	Telnet	SMTP	Time	HTTP	POP3	SNMP

Les valeurs supérieures à 1 000 correspondent à des ports clients et sont affectées à la demande par la machine qui effectue une connexion TCP.

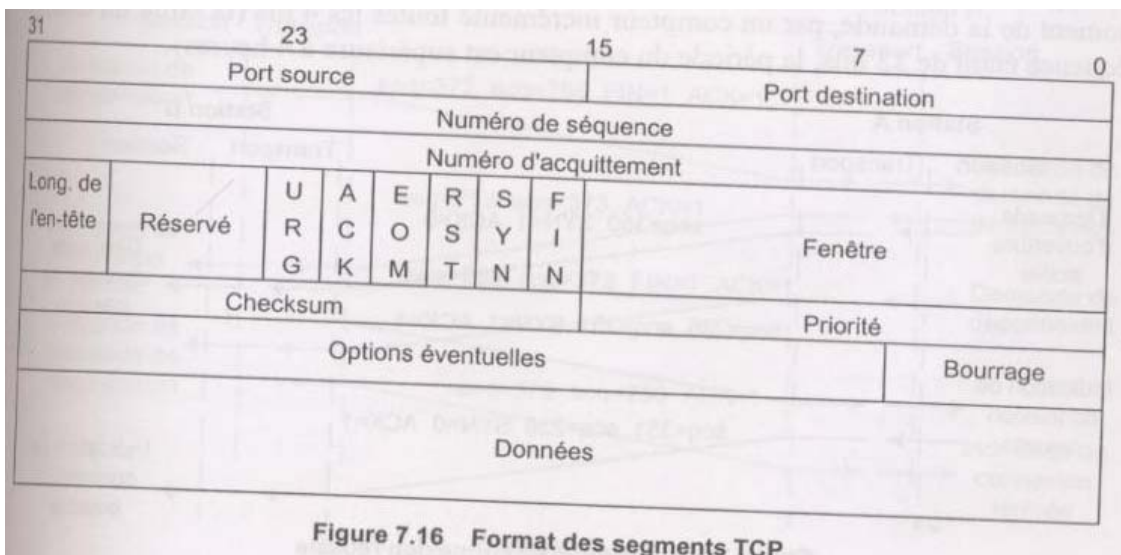
- La longueur indique la longueur totale du message en octets (données et en-tête).
- La somme de contrôle est calculée comme pour les paquets IP. Une somme à 0 indique qu'elle n'est pas gérée.

### 7.3.4 Le protocole TCP (*Transmission Control Protocol*)

Ce protocole de niveau transport recouvre globalement les fonctionnalités des communications de classe 4 avec connexion (normalisation ISO). Il est identifié par la valeur 6 dans le champ protocole du paquet IP. Ses principales caractéristiques sont :

- établissement et fermeture de la connexion virtuelle ; segmentation et réassemblage des données (S-PDU) ;
- acquittement des datagrammes reçus et retransmission sur absence d'acquittement (un reséquencement est effectué si la couche IP ne les délivre pas dans l'ordre) ;
- contrôle de flux ;
- multiplexage des données issues de plusieurs processus hôtes en un même segment ;
- gestion des priorités des données et de la sécurité de la communication.

#### a) Format des segments TCP





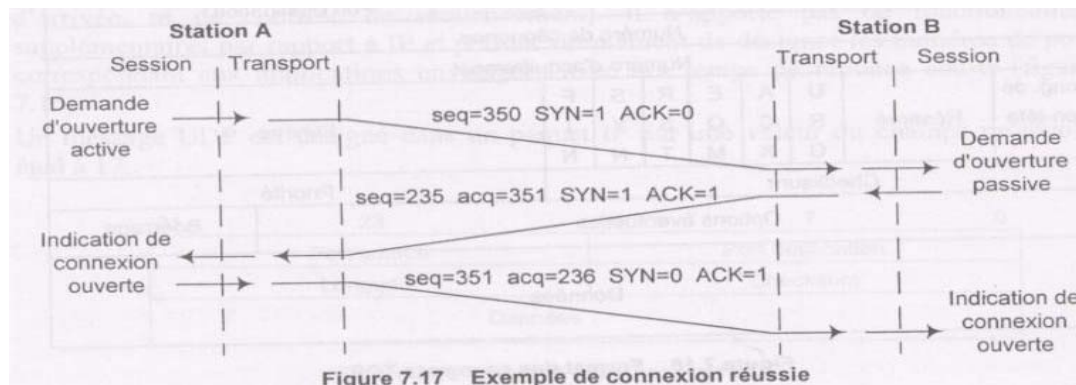
- Les numéros de port permettent de référencer les applications (voir protocole UDP).
- Le numéro de séquence indique le numéro du premier octet transmis dans le segment.
- Le numéro d'acquittement contient le numéro de séquence du prochain octet attendu par l'émetteur.
- La longueur de l'en-tête est codée sur 4 bits et donne le nombre de mots de 32 bits.
- Les bits de contrôle permettent de définir la fonction des messages ainsi que la validité de certains champs :

- URG = 1 si le champ des priorités est utilisé (pour des demandes d'interruption d'émission par exemple) ;
- ACK = 1 si la valeur du champ acquittement est significative ;
- EOM (ou PSH) indique une fin de message (*End of Message*), les données doivent être transmises (*pushed*) à la couche supérieure ;
- RST (*Reset*) : demande de réinitialisation de la connexion ;
- SYN : demande d'ouverture de connexion (les numéros de séquence doivent être synchronisés) ;
- FIN : fin de connexion.

- Le champ fenêtre (*Windows*) indique le nombre d'octets que le récepteur peut accepter à partir du numéro d'acquittement.
- Le champ *checksum* correspond à une somme de contrôle de l'en-tête et du message.
- Le champ *priority* contient lors d'une interruption d'émission (URG=1) un pointeur sur les octets de données à traiter en priorité.
- Le champ options permet de définir, par exemple, la taille maximale d'un segment.

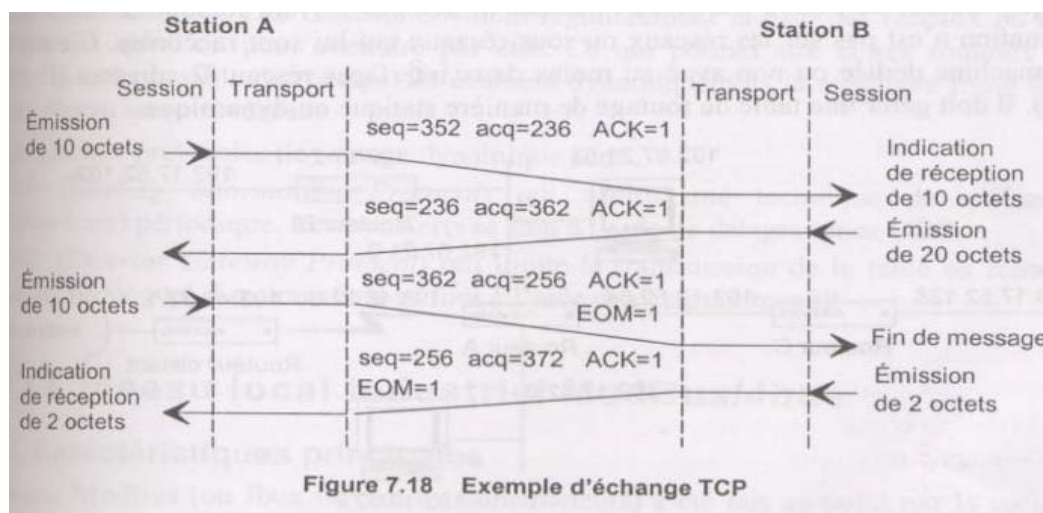
### b) Ouverture d'une connexion

Après autorisation locale sur chaque station et déclaration d'un identificateur permettant l'application de référencer la connexion, la demande d'ouverture de connexion est transmise à la couche transport qui positionne son bit SYN à 1 (figure 7.17). Le numéro séquence initial à l'émission (*Initial Send Sequence number, ISS*) est délivré, au orient de la demande, par un compteur incrémenté toutes les 4 ms (la taille du champ séquence étant de 32 bits, la période du compteur est supérieure à 4 heures).



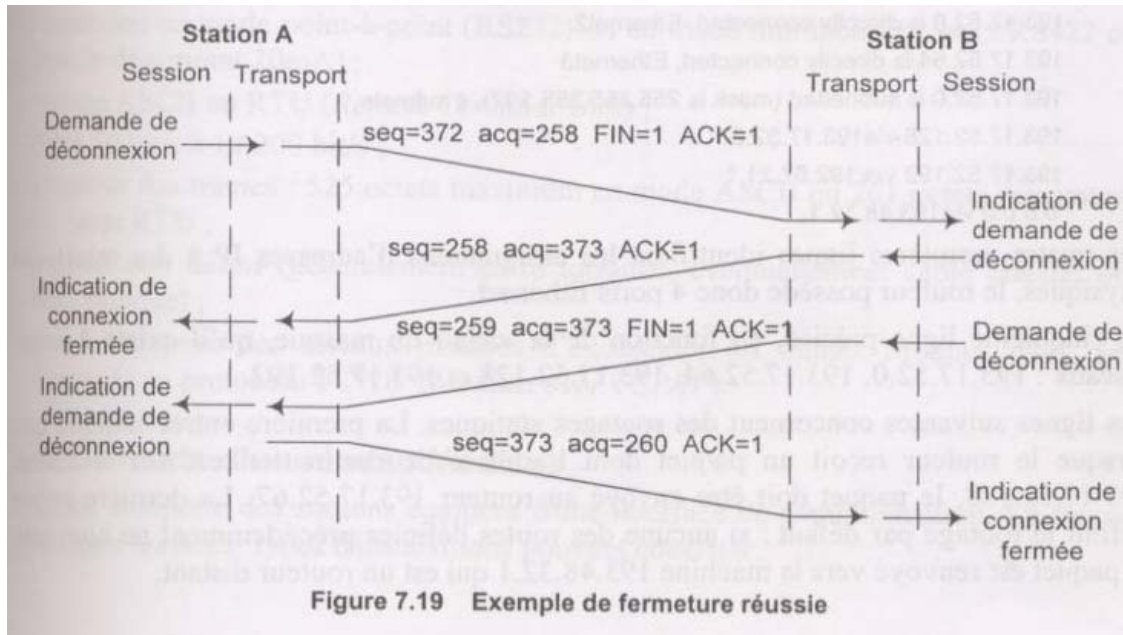
### b) Transfert de données

Le transfert de données peut alors commencer avec les numéros de séquence en cours (figure 7.18). Le contrôle de *flux* est réalisé dans les deux sens par les numéros d'acquittement (le bit ACK est alors positionné à 1). La taille de la fenêtre de transmission sans acquittement est fixée par le destinataire avant envoi du premier segment. Comme pour le protocole HDLC, lorsque l'émetteur n'a pas reçu d'acquittement après expiration d'un délai programmé, une retransmission des segments non acquittés est réalisée.



### c) Fermeture d'une connexion

La fermeture d'une connexion est réalisée lorsque le récepteur reçoit un en-tête TCP dont le bit FIN est positionné à 1 (figure 7.19). La demande est traitée dans les deux sens au niveaux supérieurs avant acquittement.



### 7.3.5 Le routage

Le routage d'un paquet consiste à trouver le chemin de la station destinataire à partir de son adresse IP. Si le paquet émis par une machine ne trouve pas sa destination dans le réseau ou sous-réseau local, il doit être dirigé vers un routeur qui rapproche le paquet de son objectif (figure 7.20). Il faut par conséquent que toutes les stations du réseau possèdent l'adresse du routeur par défaut. La machine source applique le masque de sous-réseau (*netmask*) pour savoir si le routage est nécessaire.

Chaque routeur doit donc connaître l'adresse du routeur suivant lorsque la machine de destination n'est pas sur les réseaux ou sous-réseaux qui lui sont raccordés. C'est donc une machine dédiée ou non avec au moins deux interfaces réseau (2 adresses IP et un nom). Il doit gérer une table de routage de manière statique ou dynamique.

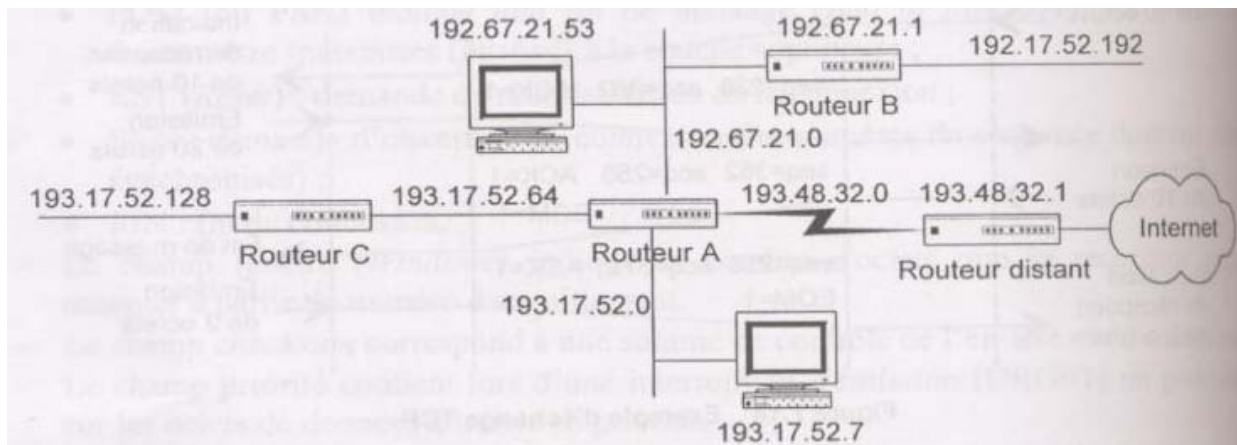


Figure 7.20 Exemple de routage

La table de routage du routeur A est donnée ci-dessous :

```

192.67.21.0 is directly connected, Ethernet0
193.48.32.0 is directly connected, Ethernet1
193.17.52.0 is directly connected, Ethernet2
193.17.52.64 is directly connected, Ethernet3
193.17.52.0 is subnetted (mask is 255.255.255.192), 4 subnets
193.17.52.128 via 193.17.52.67
193.17.52.192 via 192.67.21.1
0.0.0.0 via 193.48.32.1
    
```

Les quatre premières lignes identifient les assignations d'adresses IP à des interfaces physiques, le routeur possède donc 4 ports Ethernet.

La cinquième ligne précise, en fonction de la valeur du masque, qu'il existe 4 sous-réseaux : 193.17.52.0, 193.17.52.64, 193.17.52.128 et 193.17.52.192.

Les lignes suivantes concernent des routages statiques. La première entrée indique que lorsque le routeur reçoit un paquet dont l'adresse de destination est sur le réseau 193.17.52.128, le paquet doit être envoyé au routeur 193.17.52.67. La dernière entrée définit le routage par défaut : si aucune des routes définies précédemment ne convient, le paquet est renvoyé vers la machine 193.48.32.1 qui est un routeur distant.

Ainsi, si la station 193.17.52.7 veut atteindre une machine située sur le réseau 192.17.52.192, le paquet sera relayé par le routeur A qui transmettra au routeur B.

Il est à noter que les routeurs situés dans un sous-réseau prennent généralement les premières adresses.

Dans le cas du **routage statique**, la table est établie une fois pour toutes. Ce type de routage simple peut être utilisé pour un réseau local avec une connexion externe.

Pour le **routage dynamique**, la table est mise à jour périodiquement à l'aide de protocoles spécifiques. Les routeurs envoient régulièrement la liste des réseaux ou des sous-réseaux que l'on peut atteindre par eux. Ce qui permet aux autres routeurs de mettre à jour leurs table de routage. Ils évaluent dynamiquement la meilleure route vers chaque réseau ou sous-réseaux.

Les principaux protocoles de routage dynamique sont :

- RIP (*Routing Information Protocol*) qui utilise une technique de diffusion (*broadcast*) périodique. Les transferts se font à l'aide de datagrammes UDP.
- EGP (*Exterior Gateway Protocol*) qui limite la transmission de la table au routeur voisin (dialogue). Les transferts se font à l'aide de datagrammes IP.

## 7.4 LE RESEAU LOCAL INDUSTRIEL MODBUS/JBUS

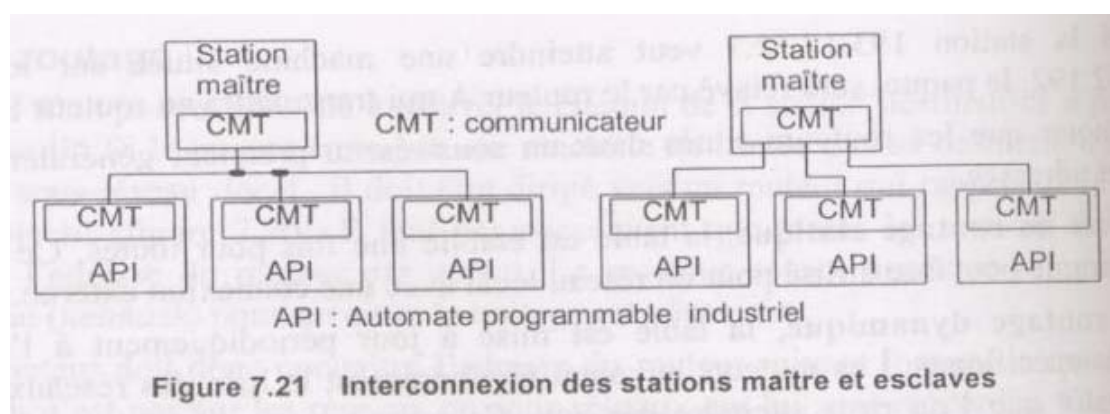
### 7.4.1 Caractéristiques principales

Le réseau ModBus (ou Jbus suivant les constructeurs) a été mis au point par la société Gould pour interconnecter ses automates programmables. Ses caractéristiques principales sont :

- gestion des couches 1 et 2 du modèle OSI ;
- structure hiérarchique organisée autour d'un maître et plusieurs esclaves ;
- transmission série asynchrone en bande de base ;
- connexion en mode point-à-point (RS232) ou en mode multipoint (RS485/RS422 et boucle de courant 20mA) ;
- codage ASCII ou RTU (*Remote Terminal Unit*) ;
- débit 50 bit/s à 19 200 bit/s ;
- longueur des trames : 525 octets maximum en mode ASCII ou 261 octets maximum en mode RTU ;
- support non défini (généralement paire torsadée, éventuellement câble coaxial ou fibre optique) ;
- possibilité pour des réseaux installés d'encapsuler les trames Modbus dans des messages au protocole TCP/IP (*Modbus over TCP/IP*).

### 7.4.2 Eléments d'un réseau ModBus

Le réseau comporte des stations équipées d'une interface de communication. La figure 7.21 montre les deux types d'installations pouvant coexister.





Le nombre de stations esclaves est limité à 247, et la longueur du bus à 4 500 m pourrit la paire torsadée. Pour les stations maîtres, généralement réalisées à partir d'ordinateur, les tâches réseau sont assurées par un logiciel. Elles peuvent comporter une fonction passerelle avec un réseau local industriel de gestion d'un atelier (exemple : LAC). Pour les stations esclaves constituées le plus souvent par des API, les tâches de communication sont assurées par un jeu d'instructions microprogrammées.

### 7.4.3 Protocole de communication

Le protocole de niveau 2 Modbus/Jbus permet d'interroger, depuis le maître, un ou plusieurs, deux types de dialogues sont alors possibles :

- le maître envoie une commande à l'esclave et attend sa réponse ;
- le maître parle à l'ensemble des esclaves sans attente de réponse (diffusion générale).

Les messages sont contenus dans des trames qui comportent 4 champs (figure 7.22) :

- l'adresse de l'esclave, une valeur nulle indique une diffusion générale ;
- le code de la fonction (tableau 7.5) permet de sélectionner une commande (lecture, écriture, vérification...)
- le champ des données contient les paramètres, organisés en bits ou en octets, liés à la fonction (adresse d'un octet ou d'un bit, nombre d'octets ou de bits, valeur d'un octet ou d'un bit...)
- une somme de contrôle.

3A <sub>H</sub> (mode ASCII)	Adresse destination	Code fonction	Données	CRC	0D0A <sub>H</sub> (mode ASCII)
1 octet	1 octet	1 octet	≤ 525 octets en ASCII ≤ 261 octets en RTU	1 ou 2 octets	2 octets

Figure 7.22 Format des trames ModBus/Jbus

Suivant le mode de transmission retenu (ASCII ou RTU), le format des trames diffère par les éléments de synchronisation des trames.

Dans le mode ASCII, les trames sont précédées du caractère 3A<sub>H</sub> et suivies du délimiteur de fin 0D0A<sub>H</sub>. Chaque octet de donnée est codé sur deux caractères ASCII (exemple : 7B<sub>H</sub> est codé en 37<sub>H</sub>, et 42<sub>H</sub>). Le CRC est alors calculé sur 8 bits.

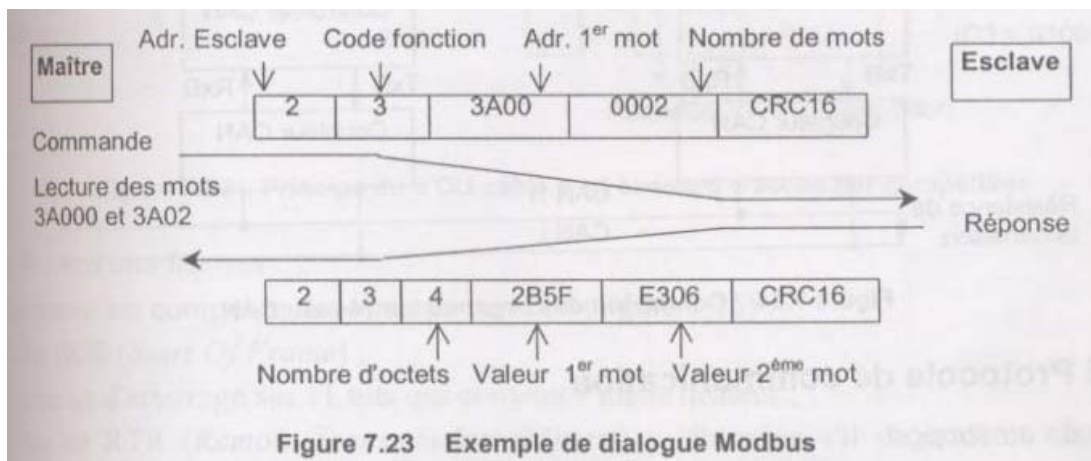
Dans le mode RTU, les délimiteurs de tête et de fin n'existent pas. La synchronisation des trames est obtenue en simulant un message synchrone. Une temporisation d'une durée correspondant à la durée de transmission de 2,5 caractères est respectée entre le dernier caractère d'une trame et le premier de la trame suivante. Chaque octet de donnée est codé en hexadécimal.

**Tableau 7.5 Codes fonction des principales trames Modbus/Jbus**

Code	Fonction
1 ou 2	Lecture de n bits
3 ou 4	Lecture de n mots
5	Écriture d'un bit
6	Écriture d'un mot
7	Lecture rapide de 8 bits *
8	Diagnostic des échanges *
11	Lecture du compteur d'événement *
12	Lecture du tampon "Trace" *
15	Écriture de n bits
16	Écriture de n mots

\* Jbus seulement

La figure 7.23 donne un exemple de dialogue avec l'envoi d'une trame de commande de lecture de 2 mots et la réponse de l'esclave.



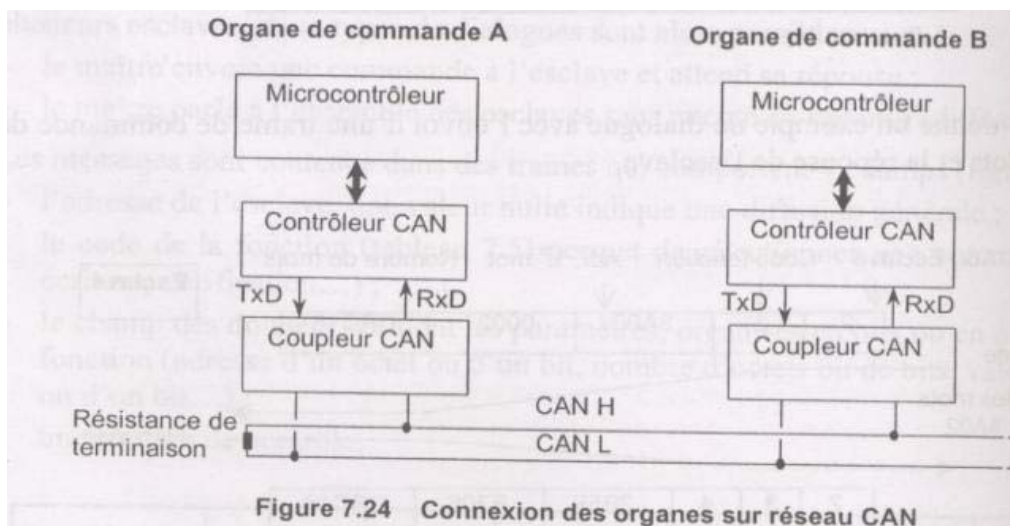
Au niveau applicatif, les données extraites de la trame permettent, suivant un protocole spécifique, de commander ou de lire l'état de l'automate (déclenchements d'actionneurs, lectures de capteurs...). Le programme utilisateur développé sur le maître (un ordinateur dédié) permettra de coder et de transmettre ces données à l'API au travers de l'interface logicielle Modbus.

## 7.5 LE RESEAU LOCAL INDUSTRIEL CAN

### 7.5.1 Caractéristiques principales

Le réseau CAN (*Controller Area Network*) est né du besoin de trouver une solution unifiée de communication série dans les véhicules automobiles. L'augmentation du nombre de commandes électroniques et d'organes embarqués a contraint les équipementiers automobiles à développer une nouvelle architecture à base de bus série (figure 7.24). Le réseau CAN a ainsi été conçu à l'origine en Allemagne par la société BOSCH et a fait l'objet d'une normalisation ISO 11898. Ses caractéristiques principales sont :

- gestion des couches 1 et 2 du modèle OSI ;
  - connexion de type multipoint par « OU câblé » ;
  - transmission synchrone sur paire torsadée, fibre optique ou liaison infrarouge ;
  - débit maximum de 1 Mbit/s pour une longueur de 40 m ;
  - méthode d'accès au support par compétition ;
  - détection d'erreur et retransmission automatique ;
  - gestion de messages prioritaires ;
- garanties de délai pour des applications de type temps réel.



### 7.5.6 Protocole de communication

#### a) Accès au support

Afin de traiter les informations en temps réel, et de garantir un délai entre la commande et l'action, il est nécessaire d'avoir un débit relativement élevé (1 Mbit/s) et surtout une assignation rapide du bus en cas de conflits, lorsque plusieurs stations souhaitent transmettre simultanément des messages.

L'urgence des informations échangées sur le bus peut être très diverse : une valeur variant rapidement, comme l'état d'un capteur ou l'asservissement d'un moteur, doit être transmis plus souvent avec un retard moindre que d'autres valeurs comme la température du moteur, qui évolue lentement.

Sur le réseau CAN, l'identificateur de chaque message, qui est un mot de 11 bits situé en début de trame (29 bits pour le format étendu), détermine sa priorité. Les priorités sont attribuées lors de l'analyse conceptuelle du réseau, au moyen de valeur binaire, et ne peuvent donner lieu à aucune modification dynamique.

Le procédé d'attribution du bus est basé sur le principe de l'arbitrage « bit à bit ». Les nœuds en compétition, émettant simultanément sur le bus, comparent bit à bit l'identificateur de leur message avec celui des messages concurrents. Les stations de priorité moins élevée perdront la compétition face à celle qui a la priorité la plus élevée.

Les stations sont connectées sur le bus par un « OU câblé » (figure 7.25). En cas d'émission simultanée, la valeur 0 écrase la valeur 1. On appelle donc l'« état dominant » l'état logique 0, et l'« état récessif » l'état logique 1. Lors de l'arbitrage bit à bit, dès qu'une station émettrice se trouve en état récessif et détecte un état dominant, elle perd la compétition et arrête d'émettre. Tous les perdants deviennent automatiquement des récepteurs du message, et ne tentent à nouveau d'émettre que lorsque le bus se libère.

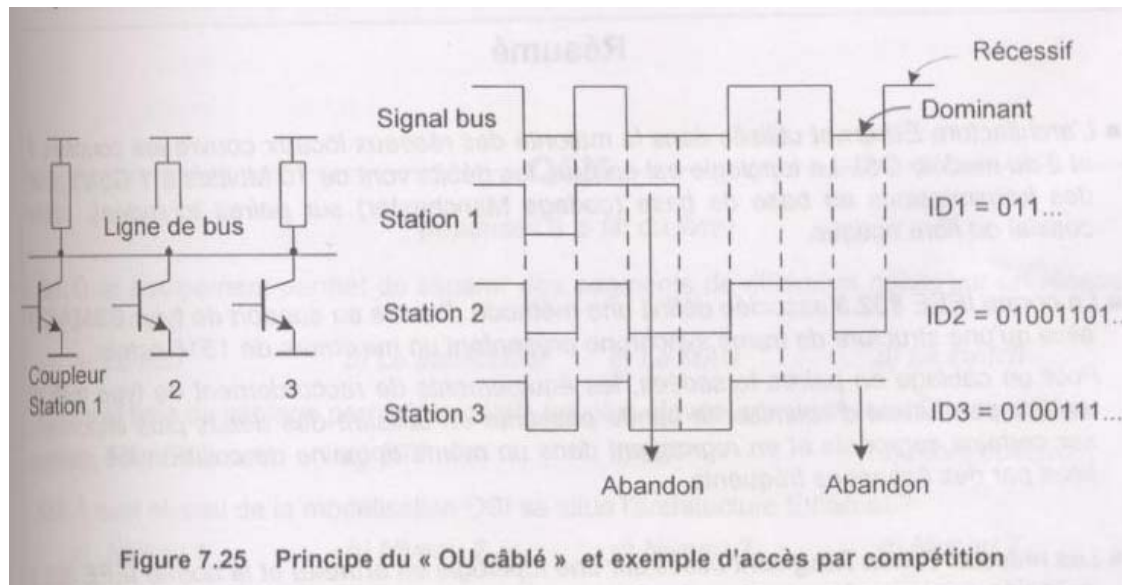


Figure 7.25 Principe du « OU câblé » et exemple d'accès par compétition

## b) Format des trames

Une trame est composée des champs suivants (figure 7.26) :

- bit SOF (*Start Of Frame*) ;
- champ d'arbitrage sur 11 bits qui contient l'identificateur ;
- un bit RTR (*Remote Transmission Request*) : détermine s'il s'agit d'une trame de données (état dominant) ou d'une trame de demande de message ;
- bit IDE qui établit la distinction entre format standard (état dominant) et format étendu ;
- bit réservé pour une utilisation future ;
- 4 bit DLC (*Data Length Code*) : nombre d'octets contenus dans la zone de données ;
- champ de données de longueur comprise entre 0 et 8 octets ;
- champ CRC de 15 bits ;
- champ ACK composé d'un bit à l'état récessif (forcé à l'état dominant par les stations ayant bien reçu cette trame) ainsi qu'un bit séparateur ACK ;
- champ EOF (*End Of Frame*) de 7 bits : permet d'identifier la fin de la trame.



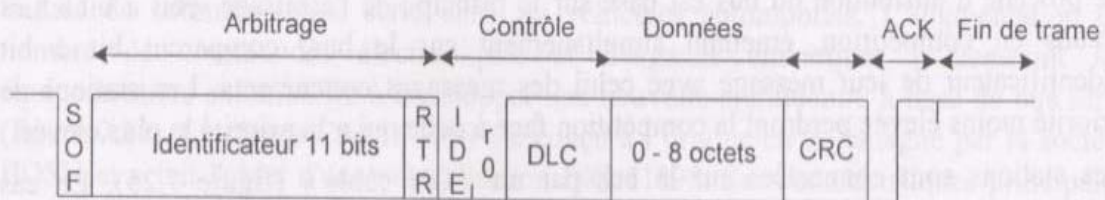


Figure 7.26 Format des trames CAN standard

## Résumé

- L'architecture **Ethernet** utilisée dans la majorité des réseaux locaux couvre les couches 1 et 2 du modèle OSI. La topologie est en **bus**, les débits vont de 10 Mbits/s à 1 Gbit/s pour des transmissions en base de base (codage Manchester) sur paires torsadées, câble coaxial ou fibre optique.
- La norme **IEEE 802.3** associée définit une méthode d'accès au support de type **CSMA/CD** ainsi qu'une structure de trame synchrone présentant un maximum de 1518 octets.  
Pour un câblage en paires torsadées, les équipements de raccordement de type **hub** et **switch** permettent d'optimiser la bande passante en utilisant des débits plus importants sur certains segments et en regroupant dans un même domaine de collision les stations liées par des échanges fréquents.
- Les réseaux **Token Ring** sont basés sur une topologie en **anneau** et la norme **IEEE 802.5** associée concerne les couches 1 et 2 du modèle OSI. Les transmissions sont réalisées sur paires torsadées pour des débits de 4 à 16 Mbit/s. Les stations sont reliées pour former l'anneau par l'intermédiaire de **MAU** (Medium Access Unit).
- Les protocoles **TCP/IP** sont utilisés dans la plupart des réseaux locaux en liaison avec les principaux systèmes d'exploitation réseau tels UNIX, Windows NT et Netware, ainsi que sur le réseau mondial Internet. Ils sont associés à une série de protocoles de niveau supérieur pour la gestion de fichiers (NFS), l'administration des équipements (SNMP), le transfert de fichiers (FTP) ou la messagerie (SMTP).
- **IP** est un protocole de niveau réseau responsable de la transmission des données en mode sans connexion (datagramme), l'adressage et le routage des paquets entre stations par l'intermédiaire de routeurs et la fragmentation des données.  
Les adresses IP, codées sur 32 bits, sont exprimées en décimal et séparées par des points (137.15.223.2). Elles sont organisées suivant l'importance du réseau en 4 classes (A, B, C et D). Chaque machine possède dans son réseau une adresse unique.

- Le protocole de niveau transport **TCP** fonctionne en mode connecté, ses principales caractéristiques sont la segmentation et le réassemblage des messages ; le contrôle de flux avec retransmission en cas d'échec et la gestion des priorités des données et de la sécurité de la communication.
- Le réseau local industriel **Modbus** décrit les liaisons entre des automates (API) et un poste de contrôle dans un dialogue de type maître-esclave. Les transmissions séries asynchrones en bande de base sont réalisées sur des connexions multipoints RS485 pour des débits limités à 19,2 kbit/s. Le protocole de niveau 2 associé définit les trames de commande et de réponse utilisées pour lire l'état ou pour commander les API.
- Le réseau **CAN** est conçu au départ pour des communications série entre les organes embarqués des automobiles. Ses caractéristiques principales sont la garantie de délai entre une commande et une action avec un débit maximum de 1 Mbit/s ; une transmission synchrone sur ligne de type multipoint par "OU câblé" ; un accès au support par compétition et une gestion de messages prioritaires. Le protocole de niveau 2 associé définit des trames de 8 octets maximum.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1.** Quel équipement permet de séparer des segments de différents débits sur un réseau Ethernet ?
- a) Le hub                      b) Le transceiver      c) Le MAU                      d) Le switch
- Q2.** Quel type de câblage permet les débits les plus élevés sur un réseau Ethernet ?
- a) Thin Ethernet      b) UTP                      c) STP                      d) Fibre optique
- Q3.** À quel niveau de la modélisation OSI se situe l'architecture Ethernet ?
- a) Niveau 1                      b) Niveau 2                      c) Niveau 3                      d) Niveau 7
- Q4.** Quelles sont les sous-couches concernées par l'architecture Token Ring ?
- a) PHY                      b) MAC                      c) LLC
- Q5.** Quelle est la longueur maximum en octets d'un datagramme IP circulant dans un réseau Ethernet ?
- a) 64                      b) 256                      c) 1500                      d) 5000
- Q6.** Combien de sous-réseaux peut-on distinguer avec un masque égal à 255.255.255.224 sur un réseau de classe C ?
- a) 2                      b) 4                      c) 8                      d) 16
- Q7.** Quelle est la taille minimale en octets d'un en-tête TCP ?
- a) 16                      b) 20                      c) 24                      d) 64
- Q8.** Sur un réseau Ethernet utilisant les protocoles TCP/IP, à quel niveau est réalisé le contrôle de flux ?
- a) MAC                      b) LLC                      c) IP                      d) TCP



## Exercices (☺ : facile ☺☺ : moyen ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

1. ☺ Sur un réseau Ethernet, comment les collisions sont-elles détectées ? Que se passe-t-il après une détection de collision ?
2. ☺ Déterminer la durée minimale d'occupation du bus par une trame sur un réseau Ethernet à 10 Mbit/s.
3. ☺☺ Calculer la durée maximum de propagation entre les deux points les plus éloignés d'un réseau Ethernet standard. En déduire la portée maximum théorique d'un câble Ethernet si la vitesse de propagation est évaluée à 200 000 km/s.
4. ☺☺ Les services fournis par la sous-couche MAC 802.3 à la sous-couche LLC sont accessibles via les primitives représentées dans la figure 7.27. Décrire, à l'aide d'un schéma, le contenu des différentes unités de données et de contrôle (SDU, PDU et PCI) de la sous-couche MAC.

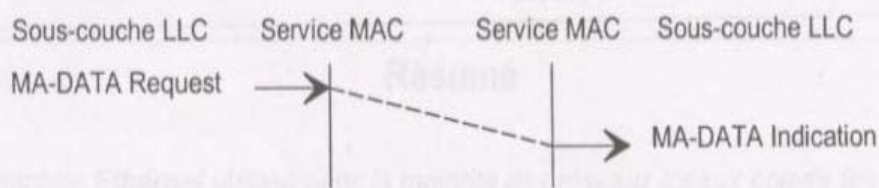


Figure 7.27

5. ☺☺ Décrire à l'aide d'un schéma l'enchaînement des primitives de service des sous-couches MAC et PHY de la norme 802.3 pour les différentes séquences :
  - émission de données ;
  - réception de données ;
  - détection de collision.
6. ☺☺☺ Un réseau Ethernet standard est composé de trois stations A, B, et C. À partir d'un instant initial  $t_0$ , les stations veulent émettre dans l'ordre suivant :
  - à  $t=t_0$ , la station A veut émettre un fichier de 4 Ko ;
  - à  $t=t_0+2$  ms, la station B veut émettre un fichier de 2 Ko ;
  - à  $t=t_0+2$  ms, la station C veut émettre un fichier de 2 Ko.Les valeurs successives du nombre aléatoire R sont données pour chacune des stations :
  - $R_A$  : 1, 2, 4, 3, 4, 8 ;
  - $R_B$  : 0, 1, 3, 2, 9, 12 ;
  - $R_C$  : 1, 1, 3, 2, 3, 7.
  - a) Calculer les temps de transmission des différentes trames émises par les trois stations.
  - b) Établir un diagramme des temps faisant apparaître l'ordre d'émission des trames, les collisions et les délais d'attente.
  - c) Calculer le débit moyen global (rapport du nombre total de bits transmis au temps total de transmission).
7. ☺ Pourquoi parle-t-on de topologie en étoile physique sur un réseau *Token Ring* ?



8. ☹☹ Dans un réseau *Token Ring*, composé de 5 stations, combien de temps après l'initialisation la station 5 devra attendre pour émettre si le superviseur est situé dans la station 1 et si les stations 2 et 4 veulent également émettre chacune une trame pleine ?
- débit : 4 Mbit/s ;
  - distances moyennes entre stations : 20 m ;
  - vitesse de propagation : 200 000 km/s ;
  - initialisation par une trame de 13 octets ;
  - libération du jeton en fin de trame ;
  - temps de transfert dans les coupleurs négligeable.
9. ☹☹ Quelles sont les procédures mises en œuvre dans un réseau *Token Ring* en cas de panne de la station qui vient de recevoir le jeton ?
10. ☹☹☹ Un réseau *Token Ring* à 4 Mbit/s est composé de trois stations A, B et C. À partir d'un instant initial  $t_0$ , les stations veulent émettre dans l'ordre suivant :
- à  $t = t_0$ , la station A veut émettre un fichier de 14 Ko ;
  - à  $t = t_0 + 15$  ms, la station C veut émettre un fichier de 9 Ko ;
  - à  $t = t_0 + 40$  ms, la station B veut émettre un fichier de 14 Ko.
- a) Calculer les temps de transmission des différentes trames émises par les trois stations dans le cas où le jeton est libéré en fin de trame.
  - b) Établir un diagramme des temps faisant apparaître l'ordre d'émission des trames et des jetons.
  - c) Calculer le débit moyen global (rapport du nombre total de bits transmis au temps total de transmission).
11. ☹ Comment les protocoles TCP et IP sont-ils identifiés dans une trame Ethernet ?
12. ☹ Pourquoi parle-t-on de datagramme IP ?
13. ☹☹ Une machine faisant partie d'un réseau local est reliée à l'Internet, sa configuration est la suivante :
- Adresses IP : 192.168.54.53  
Netmask : 255.255.255.224
- Quelle est l'adresse de sous-réseau et le numéro de la machine dans ce sous-réseau ?
14. ☹☹ Un site local est constitué de deux sous-réseaux physiques, reliés par l'intermédiaire d'un routeur à Internet. Ce site possède une adresse IP de classe B. Proposez un mode d'adressage des différentes stations pour que le routeur n'ait pas à diffuser systématiquement tous les messages reçus sur chacun des sous-réseaux.
15. ☹☹ Un datagramme IP peut être découpé en plusieurs fragments.
- a) De quelles informations dispose-t-on pour savoir qu'un paquet est un fragment ?
  - b) Comment reconstitue-t-on un datagramme à l'arrivée ?
  - c) Un routeur peut-il confondre deux fragments qui ont les mêmes éléments suivants : source, destination et numéro de fragment ?

16. Comment sont traités les en-têtes des paquets dans les deux cas suivants :
- L'émetteur et le récepteur sont connectés au même réseau TCP/IP.
  - L'émetteur et le récepteur sont connectés à deux réseaux TCP/IP reliés par un routeur.
17. À quoi correspondent les numéros de port des protocoles UDP et TCP ?

## Chapitre 7

### QCM

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
d)	c) ; d)	a) ; b)	a) ; b) ; c)	c)	c)	b)	b) ; d)

### Exercices

1. Les détections de collision se font par détection d'une surtension sur le support. Dans l'affirmative, la station attend avant une nouvelle tentative pendant un temps égal à  $T_a = R \times T_b$  avec :

$N$  : nombre de tentatives de retransmission déjà effectuées ;

$R$  : nombre aléatoire tel que  $0 \leq R \leq 2^k$  ;

$k = \min(N, 10)$  ;

$T_b$  : temps de base.

Si  $N = 16$ , la tentative de transmission est abandonnée.

2. La taille minimale d'une trame est de 64 octets. La durée d'émission de cette trame est :  $64 \times 8 / 10^7 = 51,2 \mu\text{s}$ .

A cette durée, il faudrait ajouter le temps de propagation sur le support.

3. Le temps de transmission de la plus petite trame doit être supérieur au double du temps de propagation entre les deux points extrêmes, d'où :

$$2T_p \text{ max} = 64 \times 8 / 10^7 = 51,2 \mu\text{s} \text{ et } T_p \text{ max} = 25,6 \mu\text{s}.$$

Pour une vitesse de propagation de 200 000 km/s, la portée maximum vaut :

$$L_{\text{max}} = 2 \cdot 10^8 \times 25,6 \cdot 10^{-6} = 5120 \text{ m}.$$



X3 temps d'attente pour A  $51,2 \cdot 10^{-6} \times 4 = 204,8 \mu\text{s}$  ;

pour C  $51,2 \cdot 10^{-6} \times 3 = 153,6 \mu\text{s}$ .

X4 temps d'attente pour A  $51,2 \cdot 10^{-6} \times 3 = 153,6 \mu\text{s}$  ;

pour C  $51,2 \cdot 10^{-6} \times 2 = 102,4 \mu\text{s}$ .

Débit moyen par station :

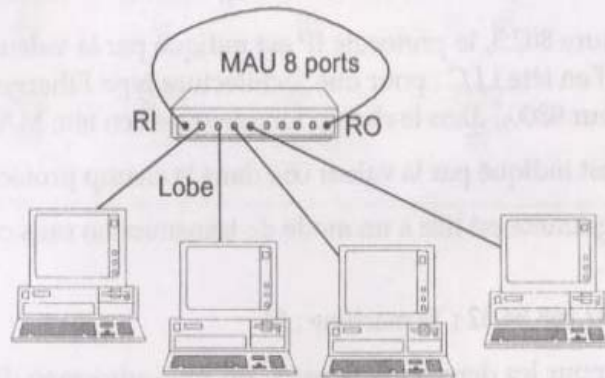
- station A :  $(2 \times 1518 + 1114) \times 8 / 7,13 \cdot 10^{-3} = 4,65 \text{ Mbit/s}$  ;

- station B :  $(1518 + 566) \times 8 / (4,23 - 2) \cdot 10^{-3} = 7,48 \text{ Mbit/s}$  ;

- station C :  $(1518 + 566) \times 8 / (6,24 - 2) \cdot 10^{-3} = 3,93 \text{ Mbit/s}$ .

Débit moyen global :  $(4 \times 1518 + 1114 + 2 \times 566) \times 8 / 7,13 \cdot 10^{-3} = 9,34 \text{ Mbit/s}$ .

7. Les stations sont connectées sur un équipement de type MAU suivant un câblage en étoile. Le MAU assure une connexion interne correspondant à une topologie en anneau.



8. En supposant qu'à l'initialisation, la station 1 émette une trame vide, et que les stations 2 et 4 émettent des trames pleines (soit 5000 octets) :

Temps de propagation entre 2 stations :  $20 / 2 \cdot 10^8 = 100 \text{ ns}$ .

Durée d'émission d'une trame vide :  $13 \times 8 / 4 \cdot 10^6 = 26 \mu\text{s}$ .

Durée d'émission d'une trame pleine :  $5000 \times 8 / 4 \cdot 10^6 = 10 \text{ ms}$ .

La trame d'initialisation fera le tour de l'anneau pour initialiser les stations, puis les stations 2 et 4 pourront émettre leur trame avant que la station 5 puisse émettre la sienne (le jeton est libéré en fin d'émission d'une trame), soit :

$26 \cdot 10^{-6} + 5 \times 10^{-7} + 10^{-2} + 2 \times 10^{-7} + 10^{-2} + 10^{-7} = 20 \text{ ms}$ .

9. Deux mécanismes entrent en jeu. Les stations situées après la station en panne vont émettre vers le superviseur une trame de contrôle signalant qu'elles n'ont pas reçu de jeton dans le temps maximum imparti TRT. De son côté, le superviseur va, soit à réception d'une trame de contrôle d'une station, soit à l'écoulement du temps TRT, émettre une trame de purge de jeton et de test du support.



10.

- Nombre de trames transmises par chaque station (en négligeant la taille des en-têtes) :
- stations A et C :  $14 \times 1024 / 5000 = 2,87$ , soit deux trames pleines et une trame de 4 336 octets ;
  - station B :  $9 \times 1024 / 5000 = 1,84$ , soit une trame pleine et une trame de 4 216 octets.

Durées d'émission des trames :

- trame de 5 000 octets :  $5\,000 \times 8 / 4.10^6 = 10$  ms ;
- trame de 4 216 octets :  $4\,216 \times 8 / 4.10^6 = 8,43$  ms ;
- trame de 4 336 octets :  $4\,336 \times 8 / 4.10^6 = 8,67$  ms ;
- jeton (3 octets) :  $3 \times 8 / 4.10^6 = 6$   $\mu$ s.

Trame	A1	J	A2	J	C1	J	A3	J	C2	J	B1	J	B2	J	B3
Temps (ms)	10		20,01		30,01		38,69		48,12		57,13		67,14		75,81

Débit moyen global :  $8 \times (5 \times 5000 + 2 \times 4\,336 + 4216) / 75,81.10^{-3} = 4$  Mbit/s.

11. Pour une architecture 802.3, le protocole IP est indiqué par la valeur 06<sub>H</sub> dans les champs DSAP et SSAP de l'en tête LLC ; pour une architecture type Ethernet II, le protocole IP est indiqué par la valeur 0800<sub>H</sub> dans le champ longueur de l'en tête MAC.

Le protocole TCP est indiqué par la valeur 06<sub>H</sub> dans le champ protocole de l'en tête IP.

12. La notion de datagramme est liée à un mode de transmission sans connexion, ce qui est le cas des paquets IP.

13. @ sous-réseau = 192.168.54.32 ; @ machine : 21

14. Il suffit d'utiliser, pour les deux sous-réseaux, un sous-adressage différent ou un masque de réseau. L'adresse de classe B contient le numéro de réseau sur les deux premiers octets. Le troisième octet peut permettre d'identifier le sous-réseau et le dernier octet peut servir à coder les adresses des stations de chaque sous-réseau, ce qui permet d'adresser 256 stations dans chaque sous-réseau.

15.

a) Grâce au bit de fragmentation MF qui, lorsqu'il est positionné à 1, signifie que le datagramme est un fragment.

b) On reconstitue le datagramme à l'arrivé en réassemblant tous les fragments dans l'ordre, grâce au bit MF, au champ de déplacement du datagramme et à l'identificateur de message.

c) Non, il n'y a pas de risque de confusion car les trois paramètres données précédemment permettent d'identifier de façon unique à quel message appartient le fragment (même si la source et la destination et le numéro de fragment sont identiques, l'identificateur du message permettra de distinguer deux fragments appartenant à deux messages différents).

16.

a) Puisque les deux stations appartiennent au même réseau, il n'y a pas de décrémentation du champs TTL, l'en-tête n'est pas modifié.

b) Les stations étant sur des réseaux différents, le champs TTL est décrémenté par le routeur d'accès au deuxième réseau et le total de contrôle est remis à jour.

17. Le numéro de port est une valeur donnée dans l'en-tête TCP qui identifie l'application (21 pour FTP, 23 pour Telnet...) ou la machine. Les ports systèmes sont prédéfinis et inférieurs à 1000 (RFC1700). La liste des numéros de port utilisés et des applications correspondantes est généralement définie dans le système dans un fichier (/etc/services pour UNIX).

Les ports clients sont affectés à la demande et sont supérieurs à 1000.

## Chapitre 8

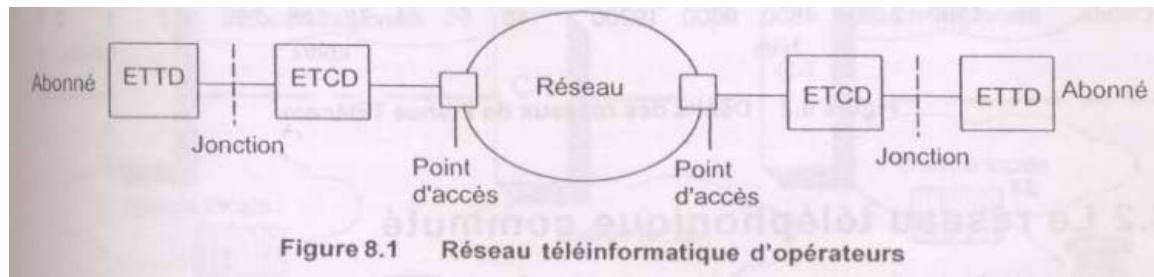
### Les réseaux d'opérateurs

#### 8.1 CARACTERISTIQUES DES RESEAUX D'OPERATEURS

La fonction principale d'un opérateur de télécommunication est le transport des informations des abonnés, d'un point à un autre de son réseau (figure 8.1). Aujourd'hui, on distingue 2 types d'opérateurs : les opérateurs de câblage (câblo-opérateurs) qui disposent des infrastructures du réseau et les opérateurs de transport qui disposent des équipements de traitement des données et assurent leur transmission à travers les infrastructures jusqu'aux destinataires. L'infrastructure d'un opérateur de câblage comporte les équipements actifs (commutateurs, multiplexeurs...) et passifs (câbles de transmission ou canaux hertziens).

Leurs capacités de transmission sont caractérisées par :

- les débits (voir figure 8.2) ;
- la nature du support utilisé ;
- les modes d'exploitation ;
- des liaisons de type point à point entre les équipements et le réseau ;
- des liaisons commutées ou spécialisées.



##### 8.1.1 Les réseaux commutés

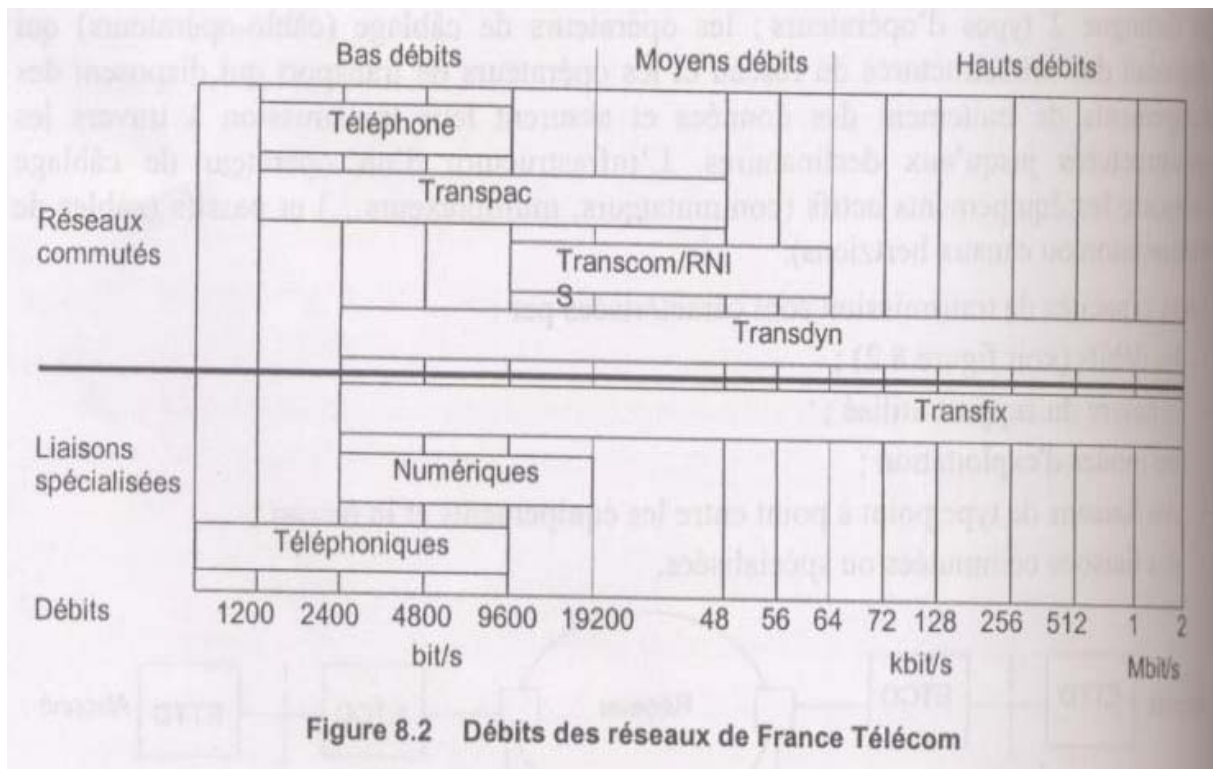
Pour ces réseaux, les liaisons entre éléments sont limitées à la durée des communications. Ils peuvent être de deux types :

- les réseaux commutés non spécialisés, non conçus initialement pour la transmission de données numériques, tels le réseau télex et le réseau téléphonique commuté ;
- les réseaux commutés spécialisés parmi lesquels :
  - le réseau Transcom offrant des débits de 64 kbit/s sur un réseau à commutation de circuits basé sur le RTC et des autocommutateurs temporels évolués ;
  - le réseau Transdyn utilisant la transmission par satellite (Télécom 1 et 2) pour des débits de 2 400 bits à 2Mbit/s ;
  - le réseau Transpac et le RNIS décrits dans les paragraphes suivants.

##### 8.1.2 Les liaisons spécialisées

Ces liaisons, dites liaisons louées, sont basées sur des lignes empruntées à l'infrastructure d'un opérateur et mises bout à bout pour constituer un lien permanent entre les extrémités. Deux types de liaisons peuvent être distingués :

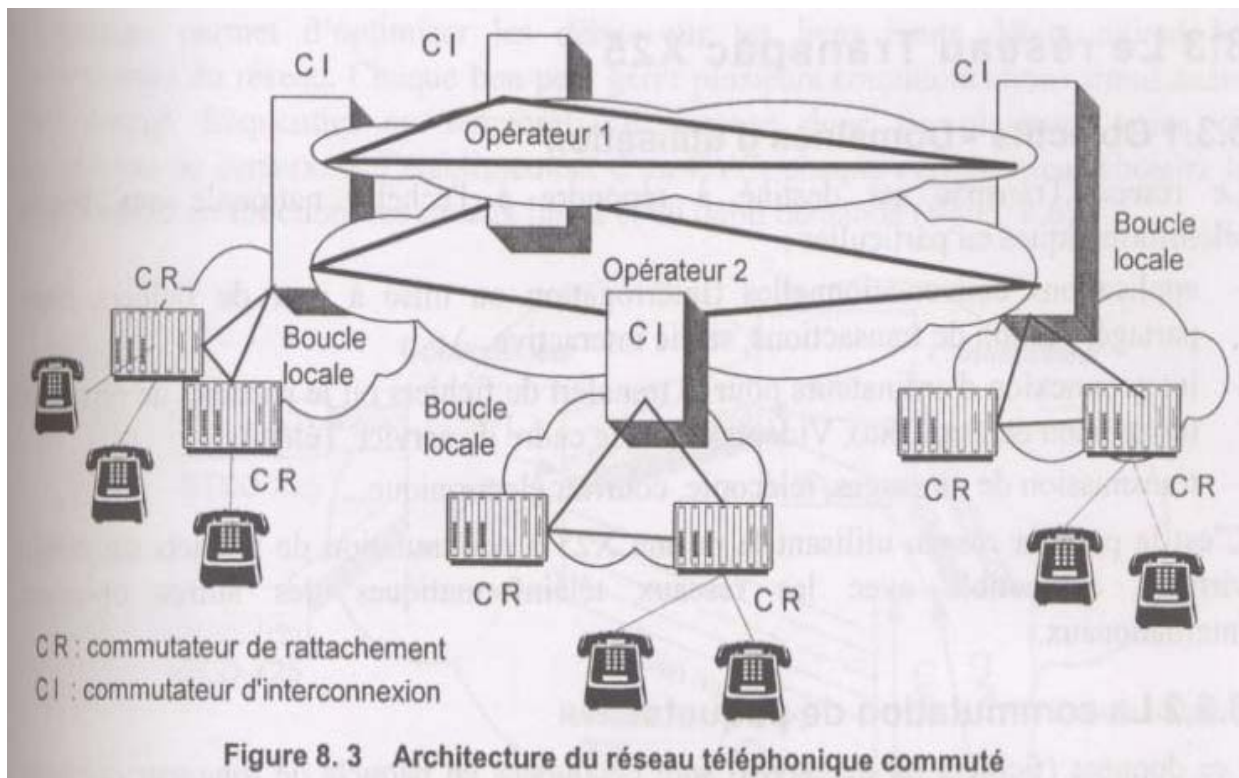
- les liaisons spécialisées classiques (liaisons téléphoniques, numériques ou en bande de base) ;
- les liaisons offertes par le service Transfix qui utilisent les techniques de transmission MIC pour des débits allant de 48 kbit/s à 2 Mbit/s.



## 8.2 LE RESEAU TELEPHONIQUE COMMUTE

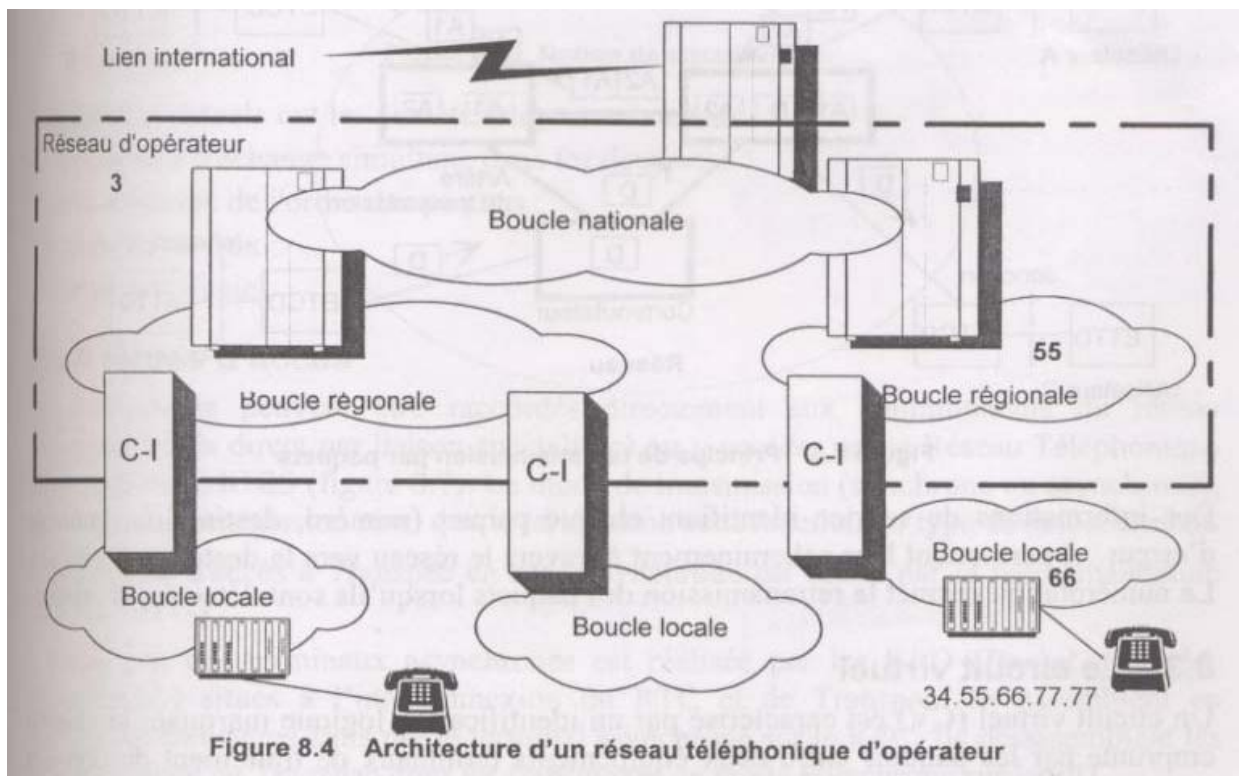
Le réseau téléphonique comporte des opérateurs de transport de boucle locale (majoritairement France Télécom) et d'interconnexion régionale (France Télécom, Cégetel...).

Les opérateurs de boucle locale offrent une interconnexion aux opérateurs d'interconnexion qui le demandent par l'intermédiaire de commutateurs d'interconnexion (figure 8.3).



Chaque opérateur d'interconnexion est structuré en 2 niveaux : « régional » et « national » (figure 8.4). L'homogénéité des structures des opérateurs permet de disposer d'un seul système de numérotation, quel que soit l'opérateur choisi par l'utilisateur.





Dans cette architecture, le nombre de liens d'interconnexion nationale est inférieur à celui de l'interconnexion régionale, mais leurs débits sont plus élevés. Au passage du niveau régional au niveau national, les communications doivent être multiplexées.

### 8.3 LE RESEAU RANSPAC X25

#### 8.3.1 Objectifs - Domaines d'utilisation

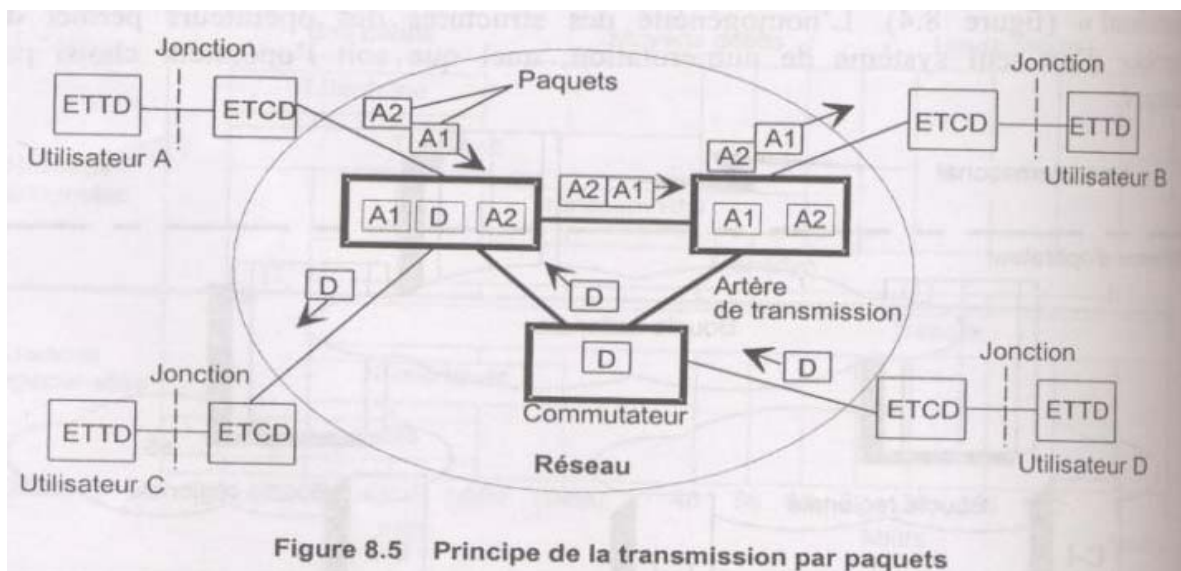
Le réseau Transpac est destiné à répondre à l'échelle nationale aux besoins téléinformatiques en particulier :

- applications conversationnelles (interrogation ou mise à jour de fichiers, temps partagé, gestion de transactions, saisie interactive...);
- interconnexion d'ordinateurs pour le transfert de fichiers ou le partage de ressources (connexion de terminaux Vidéotex dans le cadre du service Télétel...);
- transmission de messages, télécopie, courrier électronique...

C'est le premier réseau utilisant la norme X25 à commutation de paquets sur circuits virtuels, compatible avec les réseaux téléinformatiques des autres opérateurs internationaux.

#### 8.3.2 La commutation de paquets

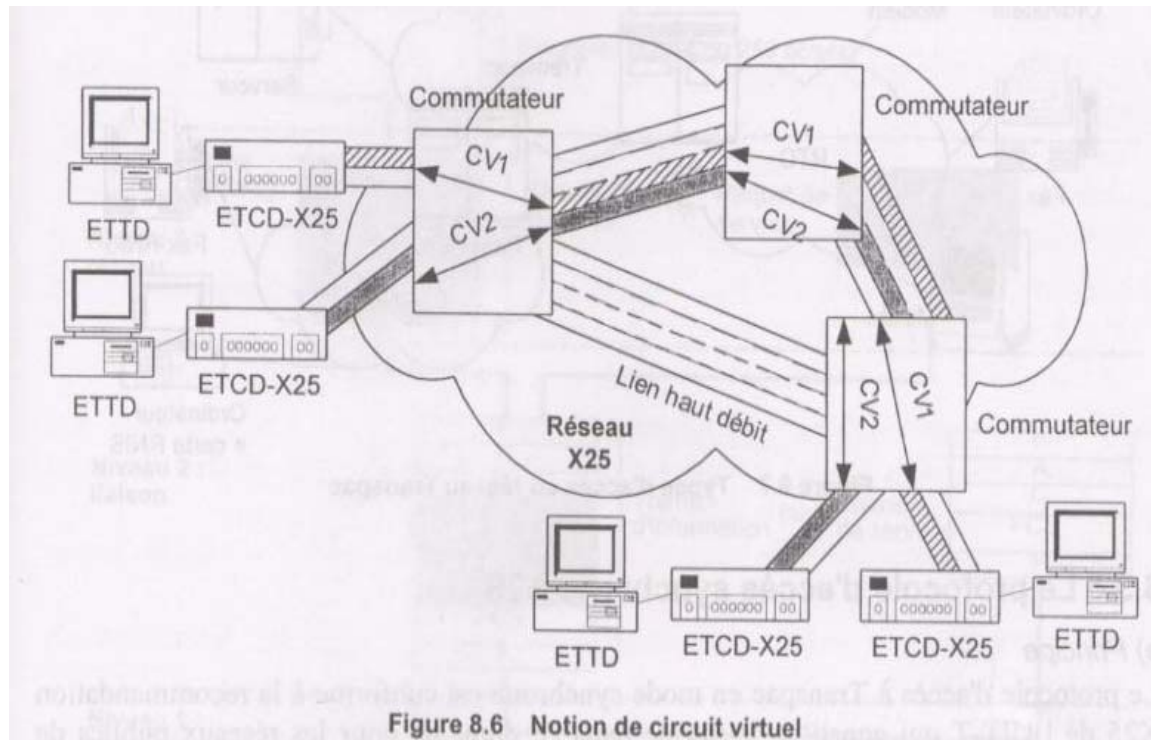
Les données (fichiers ou messages) sont découpées en paquets de longueur constante, avant leur transmission vers les commutateurs (figure 8.5).



Des informations de service identifiant chaque paquet (numéro, destination, contrôle d'erreur...) permettent leur acheminement à travers le réseau vers la destination choisie. La numérotation permet la retransmission des paquets lorsqu'ils sont détectés en erreur.

### 8.3.3 Le circuit virtuel

Un circuit virtuel (CV) est caractérisé par un identificateur logique marquant le chemin emprunté par les paquets entre deux équipements terminaux de traitement de données (ETTD). Il peut être commuté (CVC) ou permanent (CVP). En mode commuté, le chemin est identifié à l'établissement de la connexion. Il s'agit d'une transmission en mode connecté. Ce principe permet d'optimiser les débits sur les liens hauts débits reliant les commutateurs du réseau. Chaque lien peut gérer plusieurs communications simultanées (multiplexage fréquentiel ou temporel). Il dispose donc de plusieurs voies de transmission ou canaux. A l'établissement d'un CVC, chaque commutateur choisira le chemin utilisé en fonction des canaux libres et du débit demandé (figure 8.6).



Les circuits virtuels ont les caractéristiques suivantes :

- possibilité d'échange simultané dans les deux sens ;
- conservation de l'ordre des paquets ; -
- contrôle de flux ;
- accès multivoie.

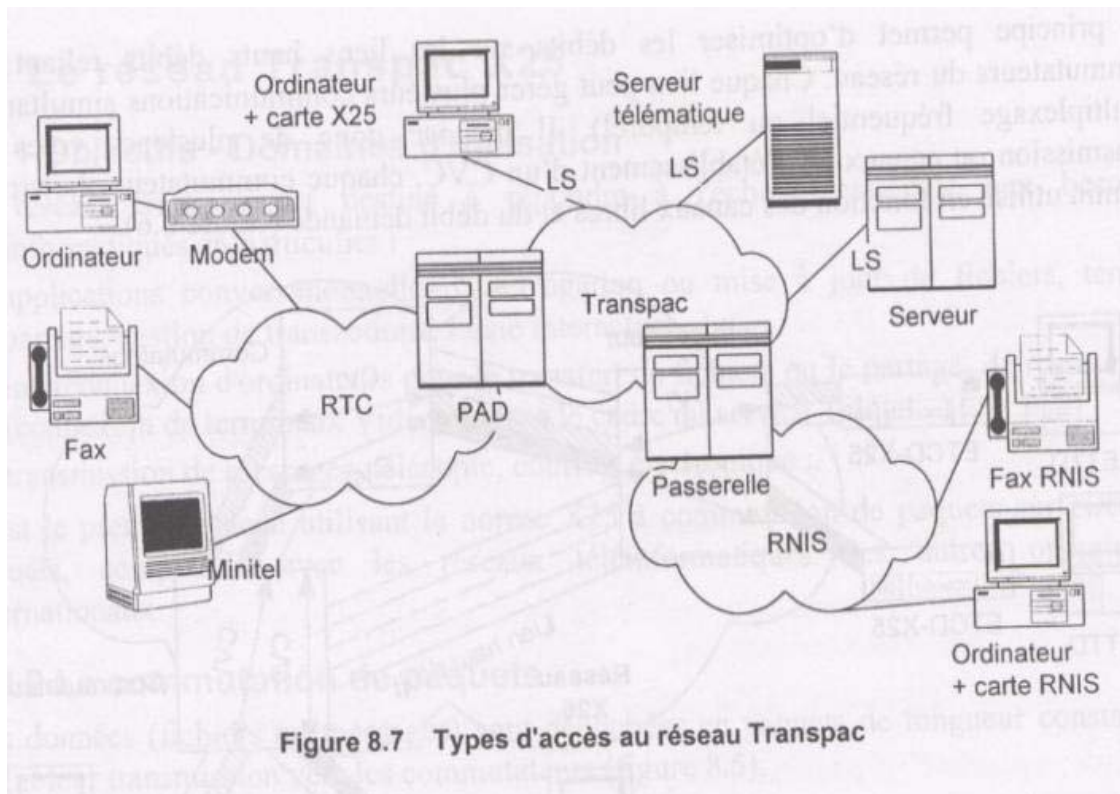
### 8.3.4 Types d'accès

Les utilisateurs peuvent être raccordés directement aux commutateurs du réseau Transpac (accès direct par liaison spécialisée) ou y accéder par le Réseau Téléphonique Commuté ou le RNIS (figure 8.7). Le mode de transmission (synchrone ou asynchrone), la vitesse de transmission ainsi que la tarification sont fonction du type de raccordement.

Le protocole d'accès à Transpac en mode synchrone est défini par la recommandation X25 de l'UIT-T.

L'adaptation des terminaux asynchrones est réalisée par les PAD (*Packet Assembly Disassembly*) situés à l'interconnexion du RTC et de Transpac. Ils assemblent en paquets les caractères émis par le terminal asynchrone sur le RTC. Ils désassemblent les paquets venant de Transpac pour les transmettre en mode asynchrone sur le RTC.

L'accès par l'intermédiaire du RTC est géré par le protocole X32 (X29 pour le minitel) qui peut être considéré comme une adaptation du protocole X25.

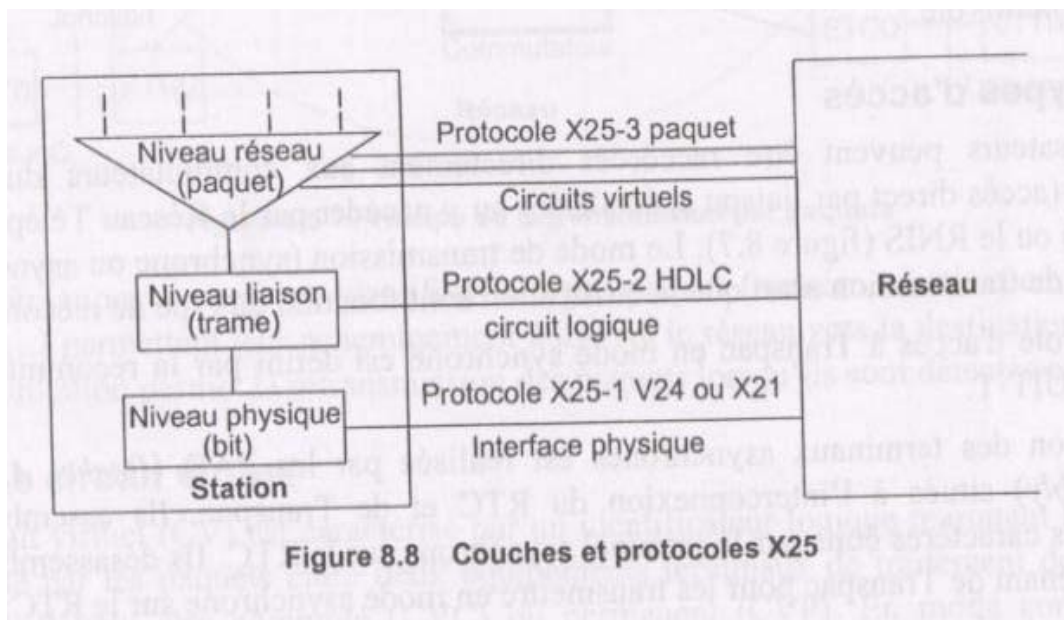


### 8.3.5 Le protocole d'accès synchrone X25

#### a) Principe

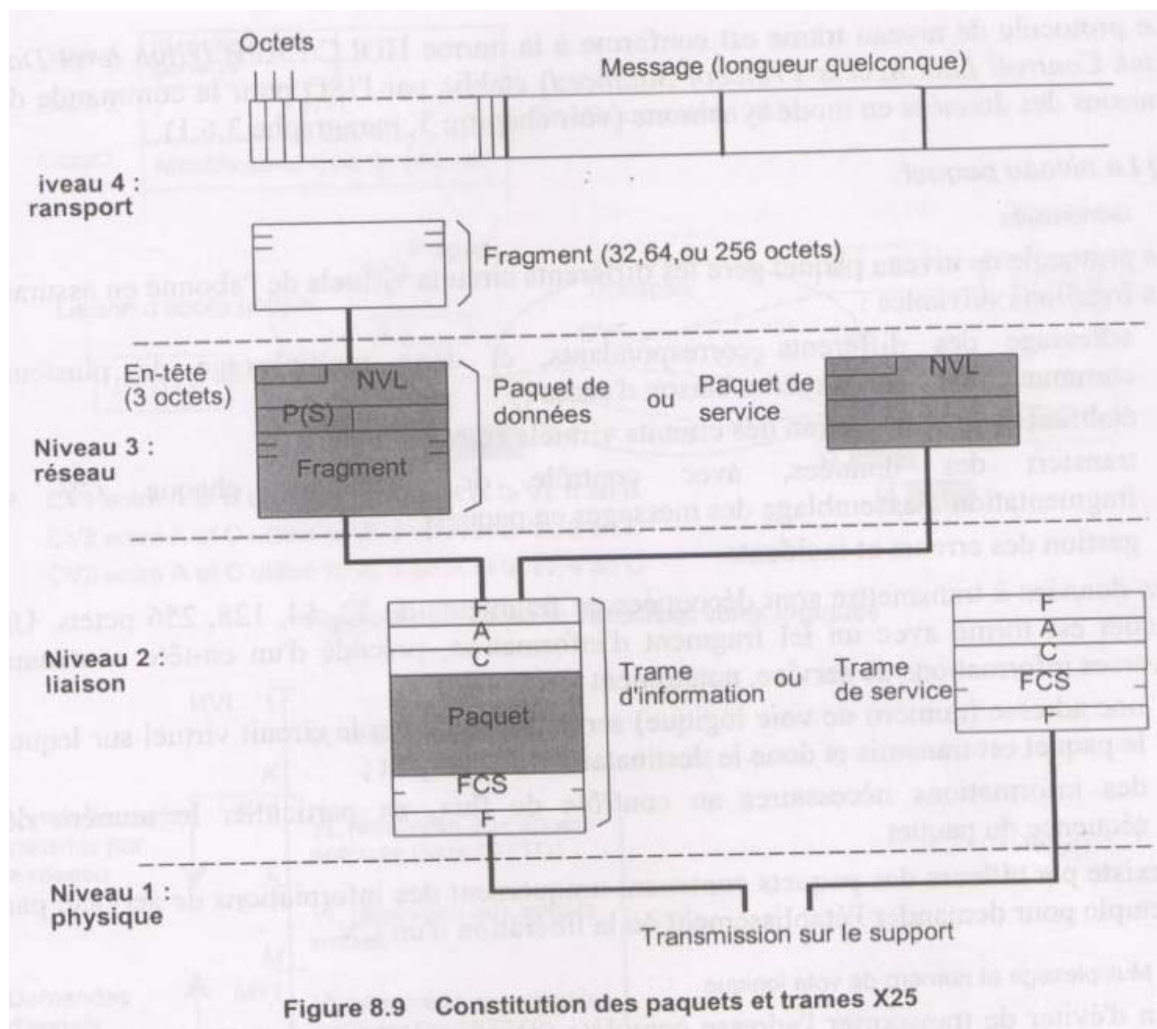
Le protocole d'accès à Transpac en mode synchrone est conforme à la recommandation X25 de l'UIT-T qui constitue la norme dans ce domaine pour les réseaux publics de commutation par paquets.

Le protocole d'accès synchrone X25 comporte trois niveaux correspondant aux trois premières couches OSI. Pour chaque niveau, une interface entre la station et le réseau est définie suivant le protocole concerné (figure 8.8).



Les unités de données correspondant à chaque couche OSI sont formées par ajout d'information de service (figure 8.9).





### b) Le niveau physique

Concerne l'interface physique entre l'équipement d'abonné et le modem Transpac ; celle-ci est conforme aux recommandations de l'UIT-T pour les descriptions mécaniques, électriques et fonctionnelles des interfaces physiques :

- V24 + V28 (RS232C) pour les vitesses jusqu'à 19 200 bit/s ;
- V24 + V 11 (RS422) ou X21 pour les transferts à 48 000 bit/s.

### c) Le niveau trame

Ajoute des informations de service en tête et à la fin des divers paquets pour contrôler leur transmission sur la liaison de raccordement de l'abonné au réseau, en assurant notamment :

- l'initialisation, la synchronisation et la délimitation des échanges ;
- la détection des erreurs de transmission, et leur correction par retransmission ;
- les reprises en cas d'incidents.

Le protocole de niveau trame est conforme à la norme HDLC/LAPE (*High-level Data Link Control/ Link Access Protocol Balanced*) établie par l'ISO pour la commande des liaisons des données en mode synchrone (voir chapitre 3, paragraphe 3.6.1).

### d) Le niveau paquet

#### > Généralités

Le protocole de niveau paquet gère les différents circuits virtuels de l'abonné en assurant les fonctions suivantes :

- adressage des différents correspondants, et donc multiplexage de plusieurs communications sur la même liaison d'accès ;
- établissement et libération des circuits virtuels commutés ;
- transfert des données, avec contrôle de flux sur chaque CV fragmentation/réassemblage des messages en paquets
- gestion des erreurs et incidents.

Les données à transmettre sont découpées en fragments de 32, 64, 128, 256 octets. Un paquet est formé avec un tel fragment d'information, précédé d'un en-tête contenant diverses informations de service, notamment :

- une adresse (numéro de voie logique) servant à identifier le circuit virtuel sur lequel le paquet est transmis et donc le destinataire de ce paquet ;
- des informations nécessaires au contrôle de flux, en particulier le numéro de séquence du paquet.

Il existe par ailleurs des paquets contenant uniquement des informations de service, par exemple pour demander l'établissement ou la libération d'un CV.

### > Multiplexage et numéro de voie logique

Afin d'éviter de transporter l'adresse complète (numéro d'abonné sur 10 chiffres) dans chacun des paquets une fois que le circuit virtuel est établi, un numéro de voie logique ou NVL codé sur 12 bits est placé dans l'en-tête de tous les paquets concernant ce circuit virtuel. Plusieurs circuits virtuels peuvent être établis pour relier un ETTD à d'autres ETTD (voir figure 8.10), ce qui permet le multiplexage temporel de plusieurs communications simultanées sur une seule liaison physique d'accès entre l'ETTD et le réseau (plusieurs liaisons d'accès peuvent également être établies pour un ETTD).

La numérotation des voies logiques sur une même liaison respecte la répartition suivante (figure 8.11) :

- de 1 à  $K$  : voies logiques réservées aux CVP ;
- de  $K+1$  à  $N$  : voies logiques réservées aux CVC.

Les paramètres  $N$  ( $N \leq 4095$ ) et  $K$  ( $K \leq N$ ) sont fixés à l'abonnement.

De plus, pour limiter les risques de conflits d'accès aux extrémités, l'affectation des voies logiques est effectuée dans l'ordre suivant :

- un appel sortant utilise le NVL disponible le plus haut ;
- Lin appel entrant utilise le NVL disponible le plus bas.

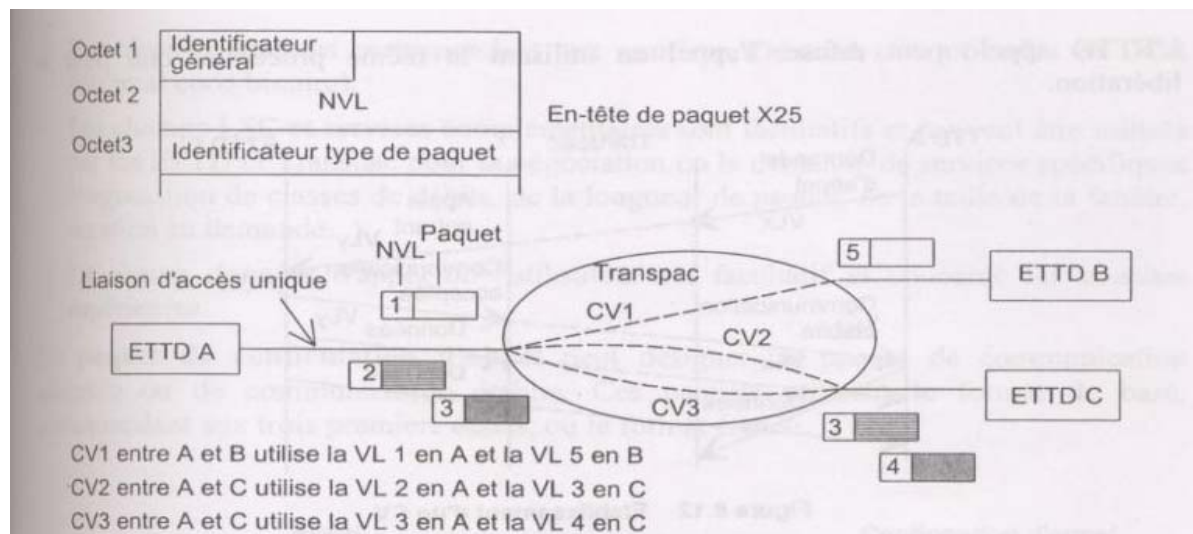


Figure 8.10 Circuits virtuels et voies logiques

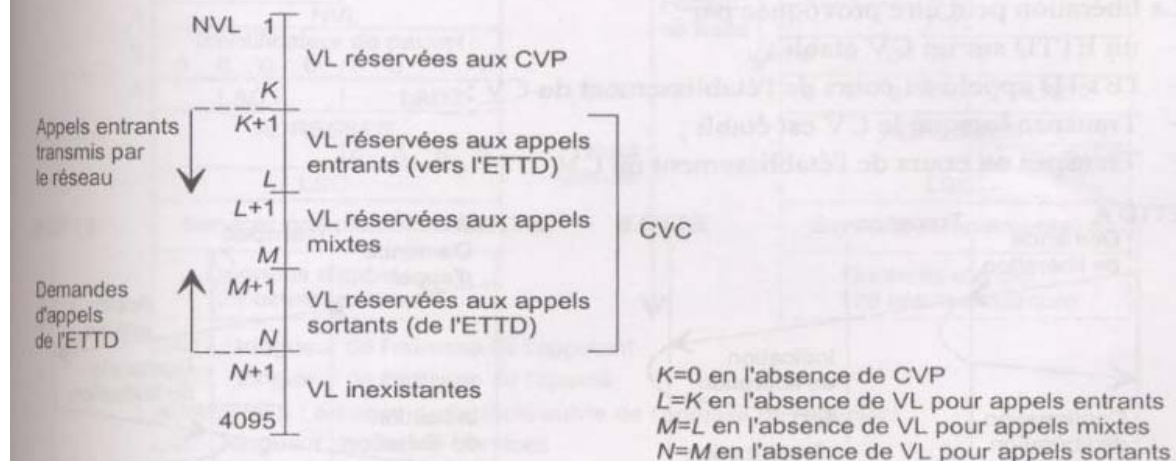


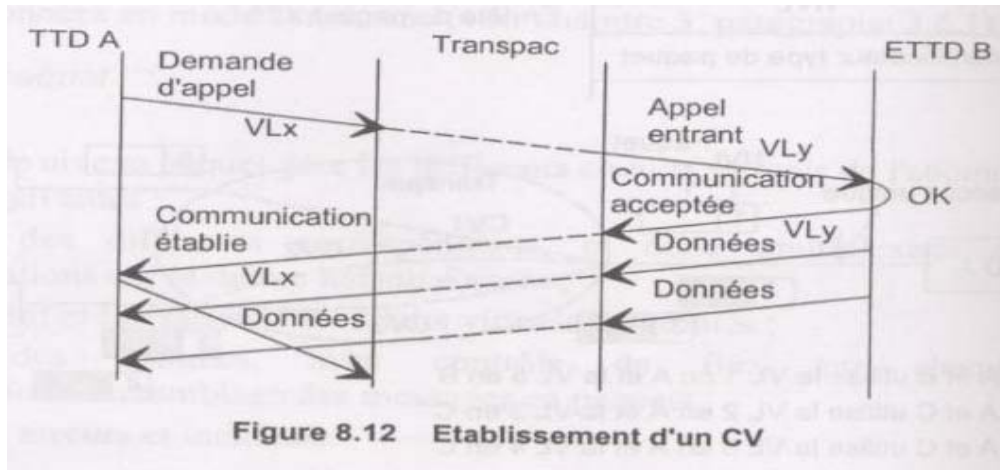
Figure 8.11 Répartition des appels

### > Etablissement des CVC (figure 8.12)

La phase d'établissement peut se résumer ainsi :

- L'ETTD appelant demande l'établissement d'un CV en émettant un **paquet d'appel** sur la voie logique libre de plus grand numéro.
- Transpac transmet un paquet **d'appel entrant** à IETTD appelé sur la voie logique libre de plus petit numéro.
- L'ETTD appelé peut accepter l'appel en émettant vers Transpac un paquet de **communication acceptée** sur la même voie logique. Transpac transmet alors l'acceptation à IETTD appelant en émettant un paquet de **communication établie** sur la même voie logique que le premier paquet d'appel.
- Les transferts bidirectionnels de paquets de données peuvent commencer.

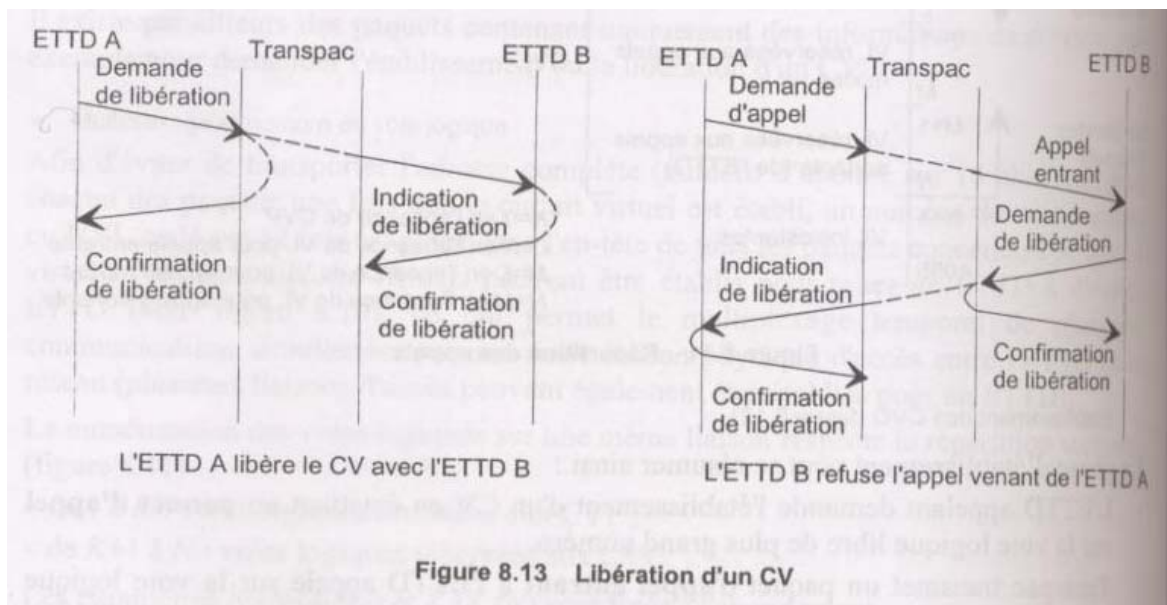
L'ETTD appelé peut refuser l'appel en utilisant la même procédure que pour la libération.



### > Libération des CVC (figure 8.13)

La libération peut être provoquée par :

- un ETDD sur un CV établi ;
- l'ETTD appelé au cours de l'établissement du CV ;
- Transpac lorsque le CV est établi ;
- Transpac au cours de l'établissement du CV.



### > Format des paquets d'établissement et de libération (figures 8.14 et 8.15)

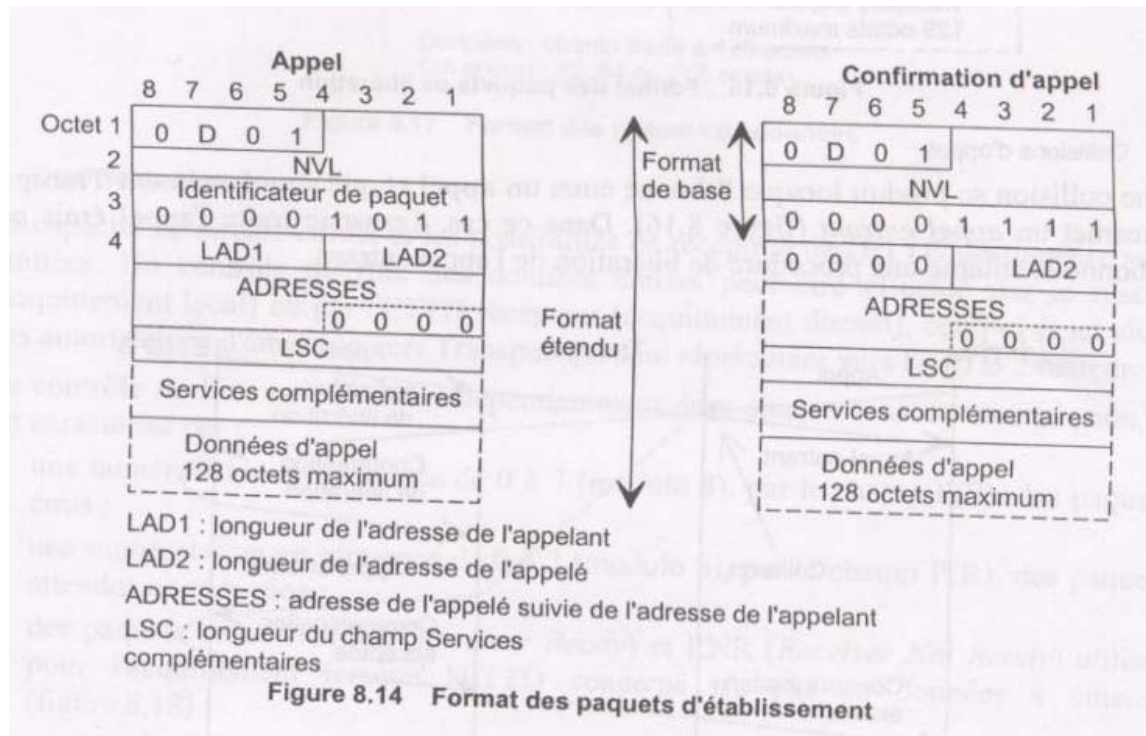
Un **paquet d'appel** peut être un paquet de demande d'appel ou un paquet d'appel entrant.

- Le NVL est choisi par le réseau dans le paquet d'appel entrant, par l'ETTD dans le paquet de demande d'appel.



- Les champs adresses correspondent aux numéros d'abonné et sont codés en DCB (décimal codé binaire).
- Les champs LSC et services complémentaires sont facultatifs et peuvent être utilisés par les ETTD et Transpac pour la négociation ou la demande de services spécifiques (négociation de classes de débits, de la longueur de paquet, de la taille de la fenêtre, taxation au demandé...).
- Le champ données d'appel de l'utilisateur est facultatif et concerne les couches supérieures.

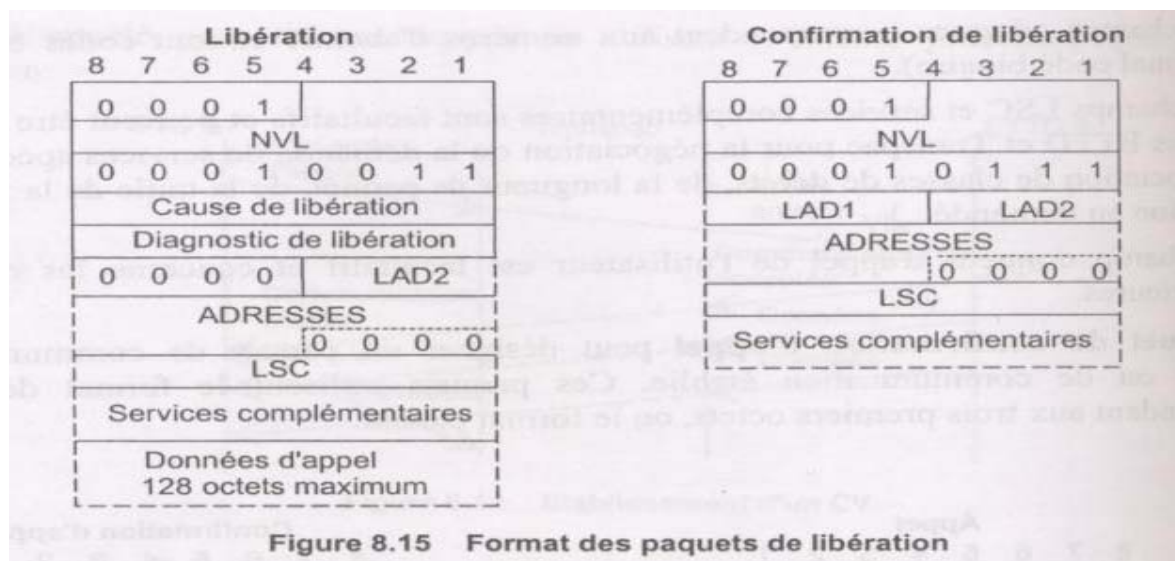
Un **paquet de confirmation d'appel** peut désigner un paquet de communication acceptée ou de communication établie. Ces paquets utilisent le format de base, correspondant aux trois premiers octets, ou le format étendu.



Les **paquets de demande et de confirmation de libération** peuvent être définis suivant le format de base ou le format étendu.

Les octets de cause et de diagnostic sont utilisés pour préciser la raison de la libération (erreur de format, numéro d'appelé inexistant, code de service complémentaire invalide...).

Le **paquet de confirmation de libération** utilise le format standard de base ou étendu sans champs de données (figure 8.16).



### > Collisions d'appel

Une collision se produit lorsque l'abonné émet un **appel** et que simultanément Transpac transmet un **appel entrant** (figure 8.16). Dans ce cas, Transpac traite l'appel émis par l'abonné et entame une procédure de libération de l'appel entrant.

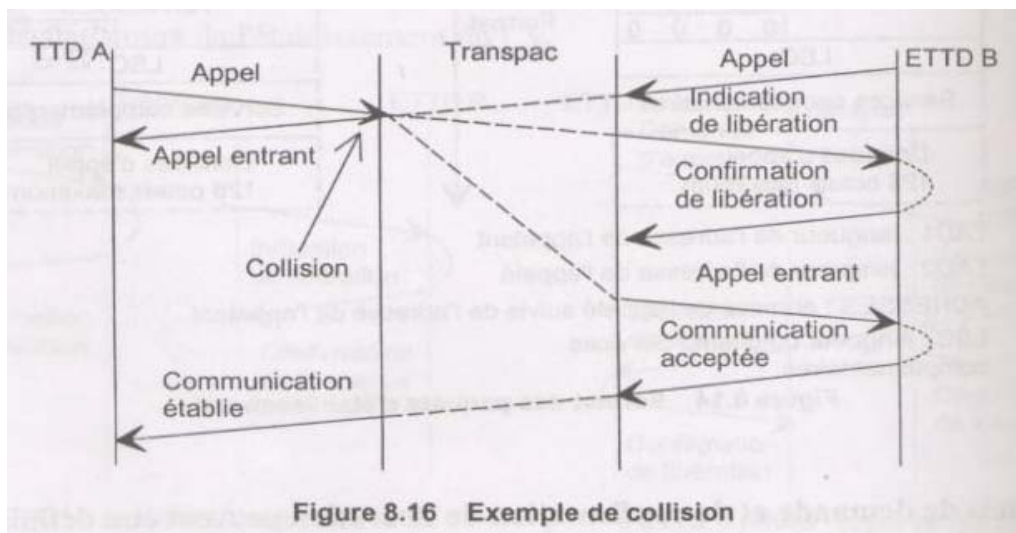


Figure 8.16 Exemple de collision

Les risques de collision sont minimisés par l'ordre d'affectation de voies logiques (numéro le plus élevé pour l'appel sortant, le plus faible pour l'appel entrant).

### > Transfert des données

Le transfert des données découpées en paquets (figure 8.17) est assuré sur les circuits virtuels avec les caractéristiques suivantes :

- transfert bidirectionnel simultané et indépendant ;
- transfert en séquence : les paquets sont délivrés au destinataire dans l'ordre où ils ont été émis sur le réseau ;
- sans duplication ni perte de paquets ;
- sans modification du champ de données.

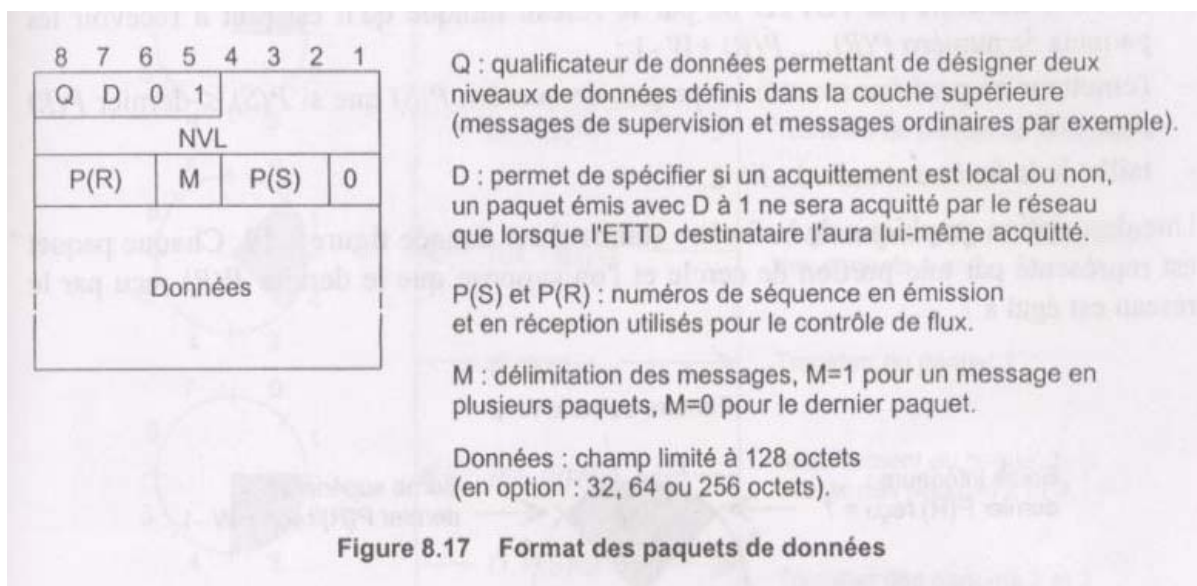


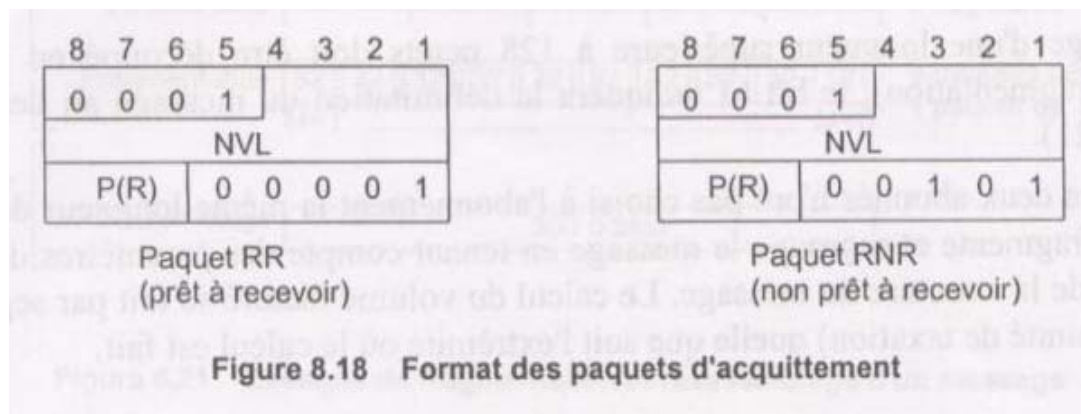
Figure 8.17 Format des paquets de données

### > Contrôle de flux

La capacité du circuit virtuel et les possibilités de réception de l'ETTD destinataire sont limitées. Un contrôle du flux des données émises peut être effectué par le réseau (acquittement local) ou par l'ETTD récepteur (acquittement distant), celui-ci émet alors des autorisations d'émission vers Transpac qui sont répercutées vers l'ETTD émetteur.

Le contrôle de flux est effectué indépendamment dans chaque sens de transmission, il est caractérisé par :

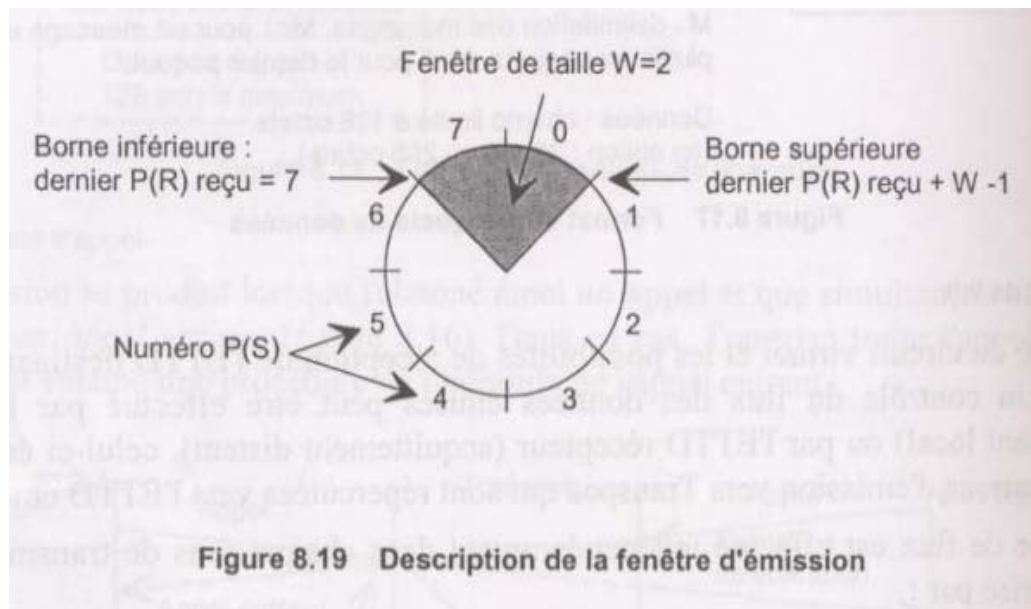
- une numérotation en séquence de 0 à 7 (modulo 8), par le champ P(S), des paquets émis ;
- une numérotation en séquence de 0 à 7 (modulo 8), par le champ P(R), des paquets attendus en réception ;
- des paquets de service RR (*Receiver Ready*) et RNR (*Receiver Not Ready*) utilisés pour l'acquittement lorsque l'ETTD concerné n'a pas de données à émettre (figure 8.18) ;
- une possibilité d'anticipation en émission.



Une fenêtre d'émission, dont la taille  $W$  est un paramètre fixé à l'abonnement, est définie suivant les caractéristiques :

- un  $P(R)$  transmis par l'ETTD ou par le réseau indique qu'il est prêt à recevoir les paquets de numéro  $P(R), \dots, P(R) + W - 1$  ;
- l'émetteur ne peut transmettre un paquet de numéro  $P(S)$  que si  $P(S) < \text{dernier } P(R) \text{ reçu} + W$  ;
- taille de la fenêtre standard :  $W = 2$ .

Une description graphique de la fenêtre standard est donnée figure 8.19. Chaque paquet est représenté par une portion de cercle et l'on suppose que le dernier  $P(R)$  reçu par le réseau est égal à 7.



La figure 8.20 donne un exemple de fonctionnement du contrôle de flux avec acquittement distant. Lorsque l'ETTD récepteur désire ralentir ou arrêter momentanément le flux des paquets de données transmis par le réseau, il cesse de transmettre les autorisations d'émettre (sous forme de paquets de données, de paquets RR ou RNR), le réseau répercute ce blocage côté émetteur avec un décalage qui dépend des possibilités de stockage du circuit virtuel utilisé.

### > Délimitation des messages

Un message d'une longueur supérieure à 128 octets doit être découpé en plusieurs paquets (fragmentation), le bit M indiquera la délimitation du message au destinataire (Figure 8.21).

Lorsque les deux abonnés n'ont pas choisi à l'abonnement la même longueur de paquet, le réseau fragmente et regroupe le message en tenant compte des paramètres de chaque abonné et de la structure du message. Le calcul du volume facturé se fait par segment de 64 octets (unité de taxation) quelle que soit l'extrémité où le calcul est fait.



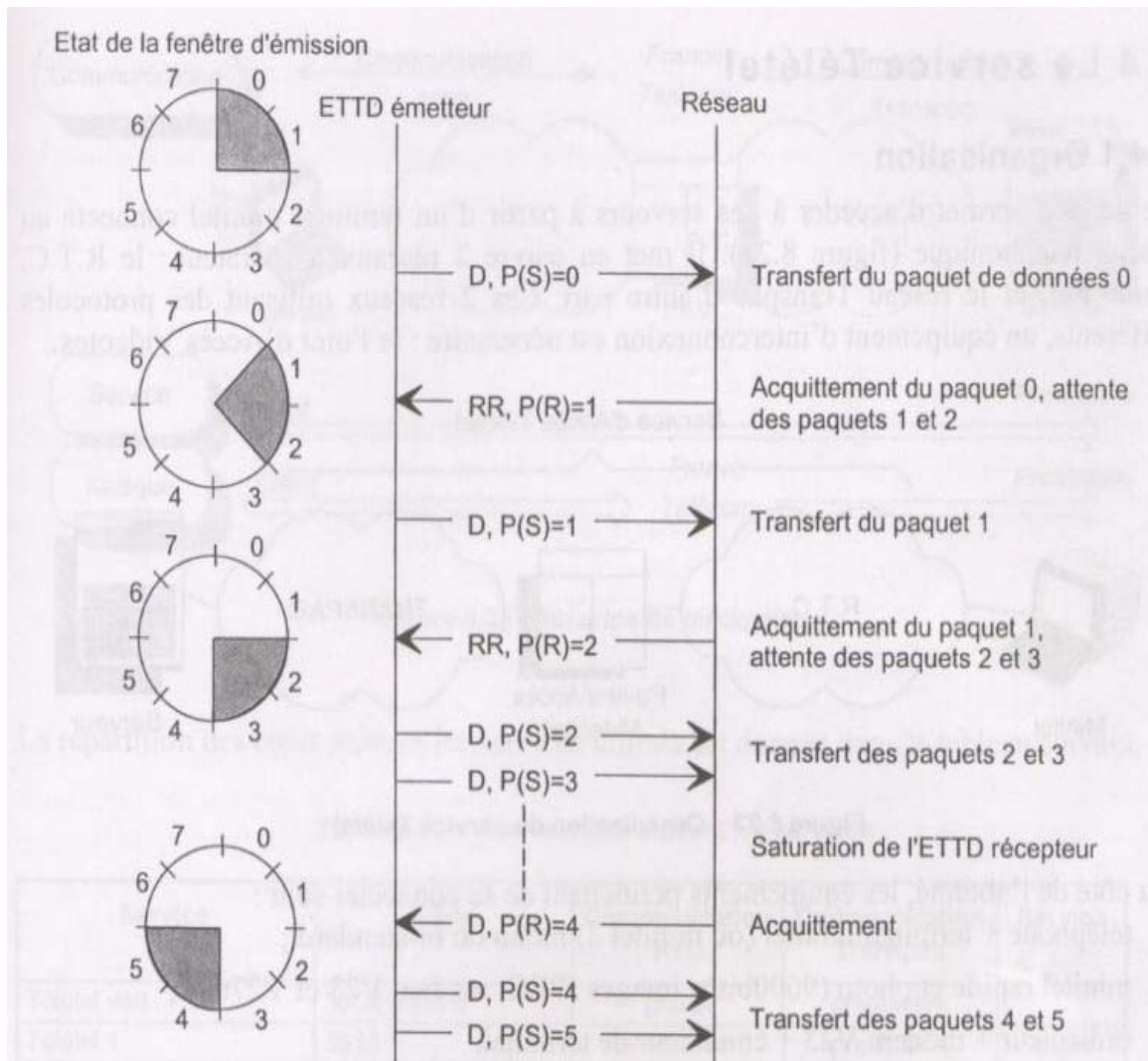


Figure 8.20 Exemple d'échange avec contrôle de flux

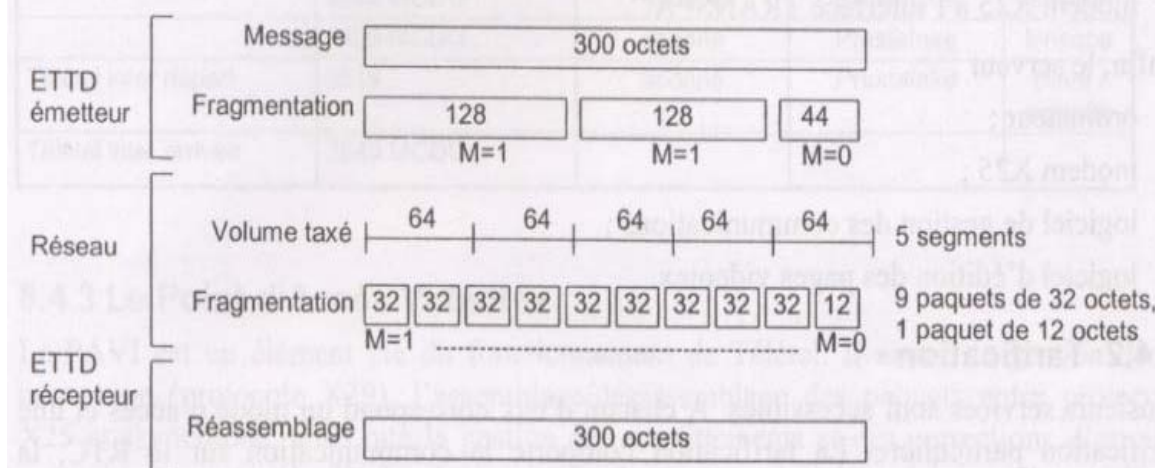
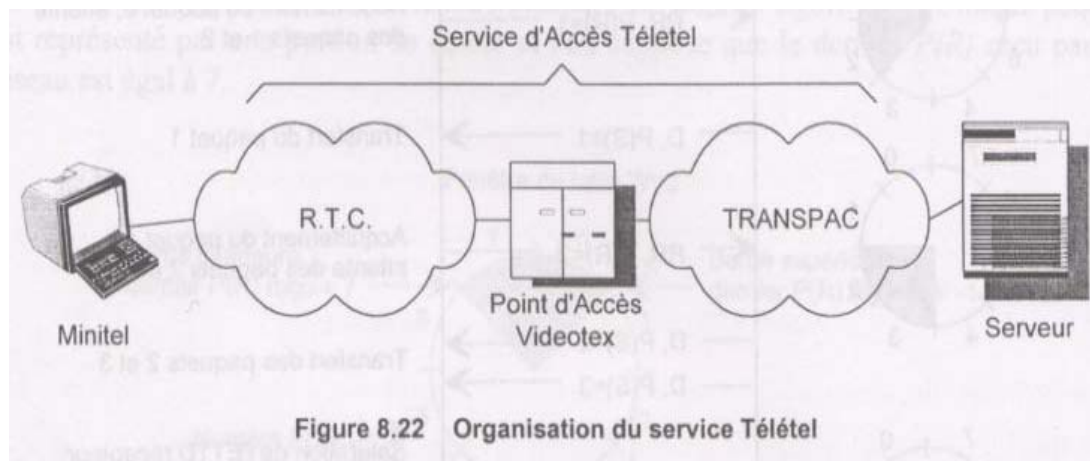


Figure 8.21 Exemple de fragmentation et réassemblage d'un message

## 8.4 LE SERVICE TELETEL

### 8.4.1 Organisation

Ce service permet d'accéder à des serveurs à partir d'un terminal minitel connecté au réseau téléphonique (figure 8.22). Il met en oeuvre 2 réseaux d'opérateur : le R.T.C. d'une part et le réseau Transpac d'autre part. Ces 2 réseaux utilisant des protocoles différents, un équipement d'interconnexion est nécessaire : le Point d'Accès Videotex.



Du côté de l'abonné, les équipements permettant de se connecter sont :

- téléphone + terminal minitel (ou minitel 2) mono ou bi-standard ;
- minitel rapide et photo (9600bit/s, images JPEG, modem V23 et V27ter) ;
- ordinateur + modem V23 + émulateur de terminal.

Entre les 2 réseaux, le point d'accès videotex (PAVI) :

- modem V23 à l'interface RTC ;
- assembleur/désassembleur de paquets (PAD) ;
- modem X25 à l'interface TRANSPAC.

Enfin, le serveur :

- ordinateur ;
- modem X25 ;
- logiciel de gestion des communications ;
- logiciel d'édition des pages videotex.

#### 8.4.2 Tarification

Plusieurs services sont accessibles. A chacun d'eux correspond un mode d'accès et une tarification particulière. La tarification comporte la communication sur le RTC, la communication sur Transpac et le service fourni par le prestataire (figure 8.23). Pour le kiosque, le coût du service est inclus dans le celui de la communication. Le client règle sa facture téléphonique à France Télécom, qui reverse au prestataire le coût du service prévu au contrat.

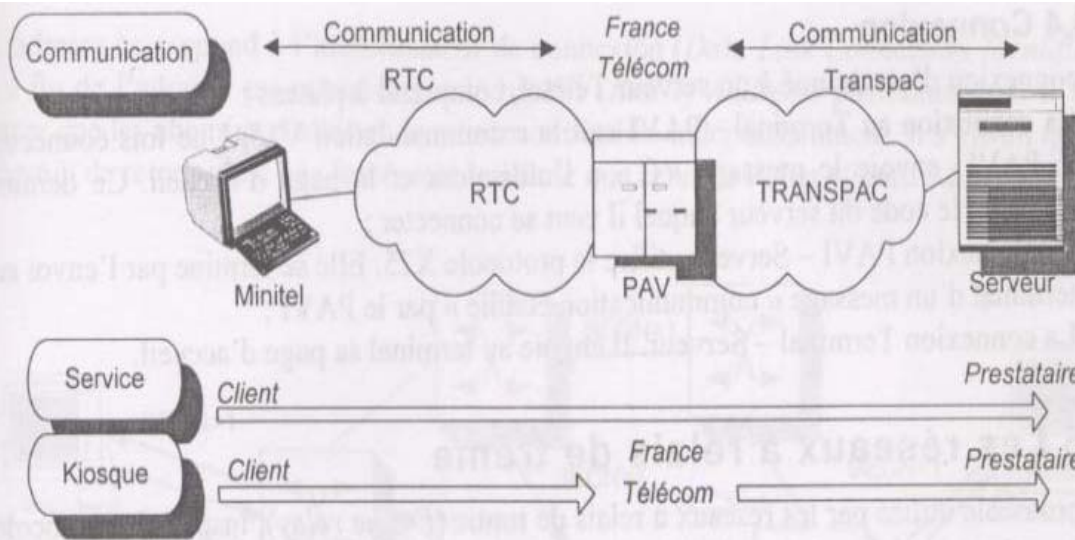


Figure 8.23 Principe de tarification

La répartition des coûts suivant les services utilisés est donnée dans le tableau suivant.

Tableau 8.1 Tarifications suivant les services

Service	Code	Communication RTC	Communication Transpac	Service
Télérel vert	3605 MCDU	gratuit	prestataire	
Télérel 1	3613	prestataire	prestataire	client
Télérel 2	3614 ou 3624 MCDU	abonné	Prestataire	client
Télérel 3	3615 ou 3624 MCDU	abonné	Prestataire	kiosque
Télérel 3P	3616 ou 3626 MCDU	abonné	Prestataire	kiosque
Télérel 4	3617 ou 3627 MCDU	abonné	Prestataire	kiosque
	3628 MCDU	abonné	Prestataire	kiosque
	3629 MCDU	abonné	Prestataire	kiosque
Télérel inter départ	3619	abonné	Prestataire	client / kiosque
Télérel inter arrivée	3643 MCDU			

### 8.4.3 Le Point d'Accès Vidéotex

Le PAVI est un élément clé du fonctionnement de Télérel. Il assure la gestion de la connexion (protocole X29), l'assemblage/désassemblage des paquets entre protocole X25 et asynchrone, ainsi que la gestion des acquittements et des corrections d'erreurs pour chaque protocole. Il gère également le dialogue avec l'abonné (page d'accueil), et lui signale les incidents. Le PAVI effectue le calcul du coût de la communication et en informe l'abonné. Il tient à jour le répertoire des serveurs accessibles.

### 8.4.4 Connexion

La connexion d'un abonné à un serveur Télérel, comprend 3 phases :

- La connexion au Terminal - PAVI suit la recommandation V25. Une fois connecté, le PAVI envoie le message « C » à l'utilisateur et la page d'accueil. Ce dernier transmet le code du serveur auquel il veut se connecter ;
- La connexion PAVI - Serveur utilise le protocole X25. Elle se termine par l'envoi au terminal d'un message « communication établie » par le PAVI ;



- La connexion Terminal - Serveur. Il envoie au terminal sa page d'accueil.

### 8.5 LES RESEAUX A RELAIS DE TRAME

Le protocole utilisé par les réseaux à relais de trame (*Frame relay*), inspiré du protocole X25, permet la transmission de la voix et des données. Comme le protocole X25, le relais de trame fonctionne en mode connecté et utilise des liaisons virtuelles permanentes ou commutées.

L'objectif est de diminuer au maximum les temps de transit dans les commutateurs. Les équipements d'extrémité sont chargés de l'acquiescement, des reprises sur erreur et du contrôle de flux (figure 8.24). Seules les fonctionnalités du noyau du protocole (recommandation Core Q.922) sont effectuées dans les commutateurs (détection d'erreur, multiplexage des trames et indication de congestion).

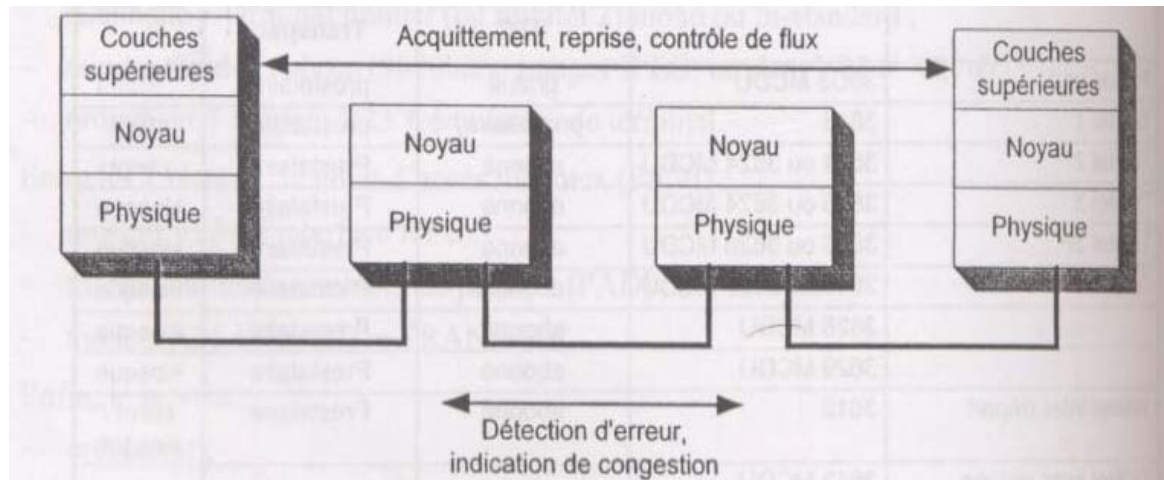


Figure 8.24 Architecture d'un réseau relais de trame

Le format de la trame utilisée est donné dans le tableau suivant.

Tableau 8.2 Format de la trame *Frame Relay*

Fanion	Adresse	C/R	EA	Adresse	FECN	BECN	DE	EA	Données	FCS	Fanion
	6 (bits)	1	1	4	1	1	1	1			
1 (octets)	2								4096	2	1

Adresse : 2 formats (6 ou 10 bits) délimité par les bits EA

C/R : commande/réponse

FECN : *Forward Explicit Congestion Notification*

DE : *Discard Eligibility*

BECN : *Backward Explicit Congestion Notification*

L'adresse correspond à l'identificateur de connexion (*Data Link Connection Identifier*). La fin de l'adresse est marquée par le bit EA (*End of Address*) positionné à 1. Il faut noter que les chemins d'aller et de retour sont établis indépendamment. Il s'ensuit que le chemin de retour n'est pas forcément le même que celui de l'aller (figure 8.25).

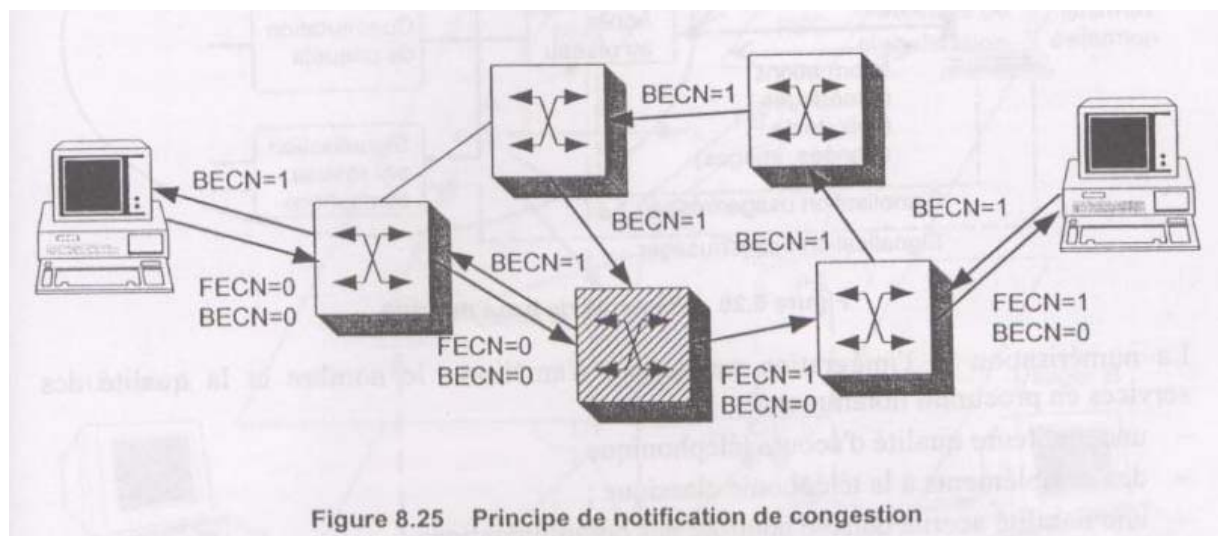


Figure 8.25 Principe de notification de congestion

La notification de congestion est faite à l'initiative des commutateurs du réseau, en utilisant les bits FECN. C'est l'équipement d'extrémité qui prévient l'équipement émetteur à travers le réseau, en utilisant le bit BECN.

## 8.6 LE RNIS

### 8.6.1 Présentation

Les objectifs de base du Réseau Numérique à Intégration de Services sont :

- d'assurer le transport sur un même support physique des informations relatives à la voix, au texte, aux données informatiques et à l'image ;
- de proposer sur un seul réseau tous les services existant sur l'ensemble des autres ainsi que de nouveaux services (téléphonie améliorée, télécopie groupe IV, visioconférence...)
- d'utiliser à la fois les réseaux téléphoniques et de données existants (réseaux à commutation de circuits et de paquets) ;
- d'étendre jusqu'à l'abonné la numérisation des informations ;
- de proposer à l'utilisateur un accès standard (interface S/T) ;
- d'utiliser un canal spécifique (réseau sémaphore) entre l'abonné et le réseau pour la gestion des communications et des ressources (signalisation).

La normalisation du RNIS est principalement effectuée par l'UIT-T. La figure 8.26 présente le modèle de base du RNIS et ses caractéristiques fonctionnelles.

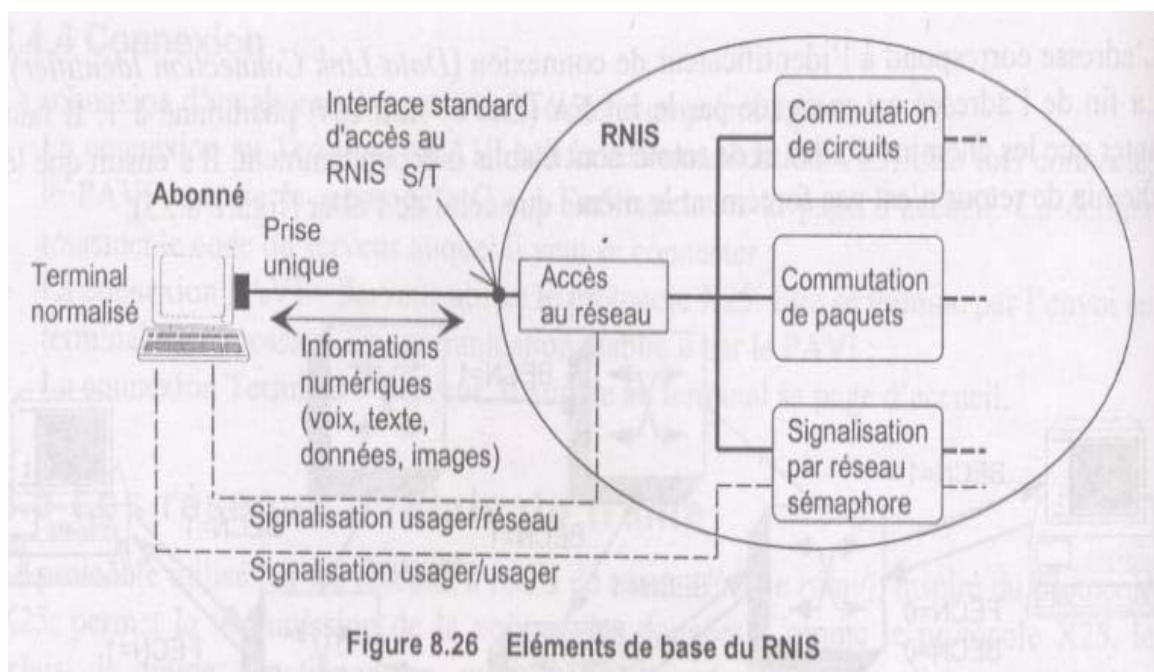


Figure 8.26 Eléments de base du RNIS

La numérisation et l'intégration permettent d'améliorer le nombre et la qualité des services en procurant notamment :

- une meilleure qualité d'écoute téléphonique ;
- des compléments à la téléphonie classique ;
- une fiabilité accrue dans le contrôle des communications ;
- un débit plus élevé en transmission de données.

Le réseau Numéris est la réalisation concrète en France du RNIS. Le concept de réseau Numéris en fait à la fois un réseau de transport et un service commercial de France Télécom.

### 8.6.2 Accès au RNIS

La transmission sur le RNIS utilise 2 types de canaux synchrones :

- le canal B, numérique à 64 kbit/s utilisé pour la voix, les données ou l'image ;
- le canal D, numérique à 16 ou 64 kbit/s utilisé pour la signalisation ou les données.

Les deux principaux types d'accès regroupent plusieurs canaux selon un multiplexage temporel :

- l'accès de base (TO) utilise deux canaux B à 64 kbit/s et un canal D à 16 kbit/s (2B+D16) ce qui correspond à un débit utile de 144 kbit/s ;

- l'accès primaire (T2) utilise trente canaux B à 64 kbit/s et un canal D à 64 kbit/s (30B+D64) et correspond à un multiplexage de type MIC.

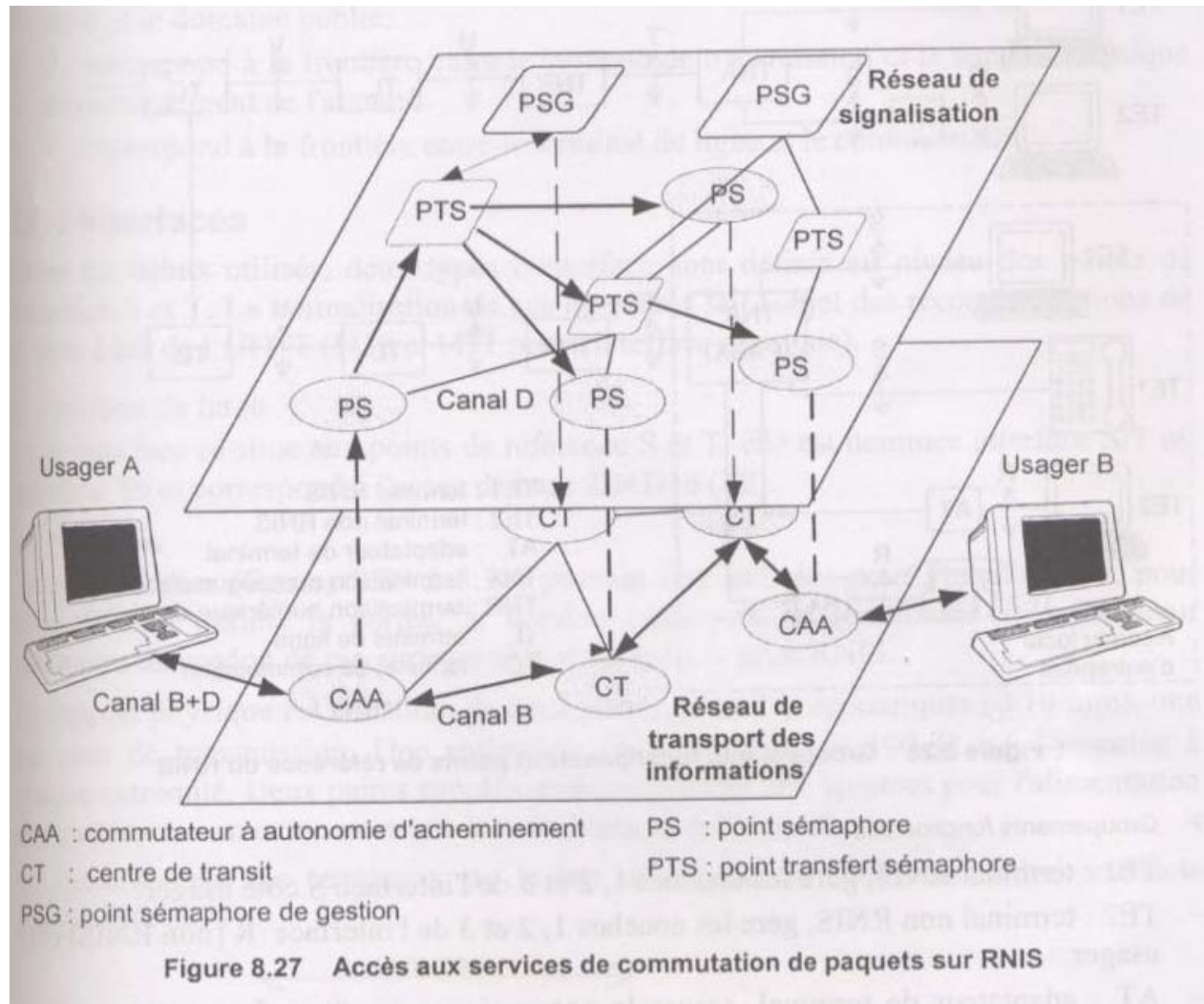
### 8.6.3 Architecture du RNIS

#### a) Architecture du réseau

Le RNIS est en fait constitué de 2 réseaux :

- un réseau de transport des informations utilisant les canaux B ;
- un réseau de signalisation assurant le dialogue entre commutateurs et usager-réseau.

Les échanges entre ces 2 réseaux se font au niveau des points sémaphores, interconnectés aux commutateurs à auto-acheminement ou aux centres de transit (figure 8.27).



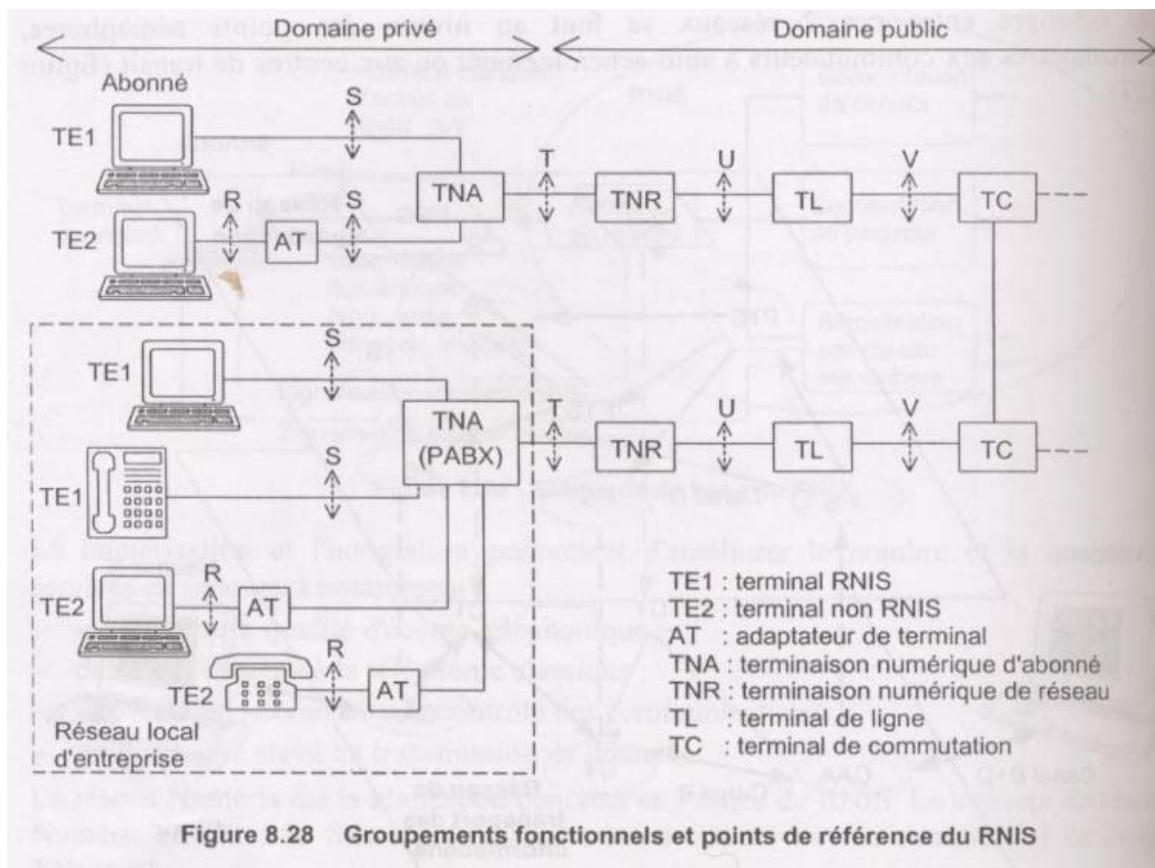
Les points sémaphores de gestion supervisent le réseau et décident des chemins empruntés par les informations. Dans la figure 8.27, les flèches du réseau de signalisation montrent les échanges de messages lors d'une demande de connexion par l'utilisateur A.

#### b) Architecture des interfaces

Une configuration de référence normalisée par le CCITT décrit l'architecture du RNIS (figure 8.28). Cette configuration est basée sur la description de deux ensembles :

- les groupements fonctionnels (TE, AT, TNA...) qui définissent les fonctions nécessaires à l'accès au RNIS ; ces fonctions peuvent être assurées par un ou plusieurs équipements ;
- les points de référence (R, S, T...) qui représentent des points théoriques séparant les groupements fonctionnels. Ces points peuvent correspondre ou non à une interface physique.





### > Groupements fonctionnels

- TE1 : terminal RNIS, gère les couches 1, 2 et 3 de l'interface S côté usager.
- TE2 : terminal non RNIS, gère les couches 1, 2 et 3 de l'interface R (non RNIS) côté usager.
- AT : adaptateur de terminal, assure la conversion entre l'interface existante R et l'interface S.
- TNA : terminaison numérique d'abonné ou NT2 (*Network Termination 2*). Ce groupement assure les fonctions des couches 1, 2 et 3 de l'interface usager-réseau et principalement la gestion du trafic local (côté interface S) ainsi que l'accès au réseau public (côté interface T). Les autocommutateurs privés ou PABX font partie de ce type d'équipement.
- TNR : terminaison numérique de réseau ou NT1 (*Network Termination 1*), assure le traitement de la couche 1 côté réseau de l'interface T. Côté système de transmission de la ligne d'abonné, la TNR s'occupe de l'adaptation au support, de la maintenance de la ligne, du contrôle de la qualité des transmissions, de l'alimentation et du multiplexage.

### > Points de référence

- R : correspond à l'interface normalisée (recommandations X et V) des terminaux existants.
- S : correspond à l'interface physique de l'abonné (prise universelle des terminaux RNIS).
  - T : matérialise l'accès unique vers le réseau et constitue la limite entre le domaine privé et le domaine public.
  - U : correspond à la frontière entre le système de transmission et le support physique du raccordement de l'abonné.
  - V : correspond à la frontière entre le terminal de ligne et le commutateur.

### 8.6.4 Interfaces

Selon les débits utilisés, deux types d'interface sont définis au niveau des points de référence S et T. La normalisation de ces interfaces fait l'objet des recommandations de la série 1400 de l'UIT-T (1430 et 1431 pour l'interface physique).

#### a) Interface de base

Cette interface se situe aux points de référence S et T, elle est nommée interface S/T ou interface SO et correspond à l'accès de base 2B+D16 (T0).

### > Topologie

Trois topologies (figures 8.29 à 8.31) peuvent être utilisées pour l'interface SO, pour chacune sont définis la portée, le nombre maximum de terminaux et la longueur maximum du cordon de raccordement du terminal à la prise RNIS.

Le support physique est constitué de deux paires torsadées symétriques (6/10 mm), une par sens de transmission. Une résistance de terminaison de 100 S2 est connectée à chaque extrémité. Deux paires supplémentaires peuvent être ajoutées pour l'alimentation des terminaux non autonomes tels les combinés téléphoniques.

Le raccordement des terminaux sur le bus se fait par un connecteur à huit contacts (norme ISO 8877).

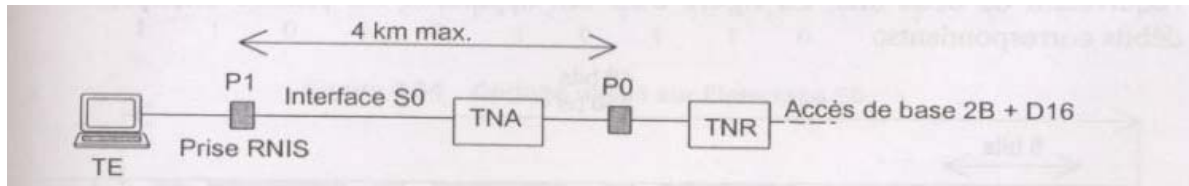


Figure 8.29 Configuration point à point pour une seule prise RNIS

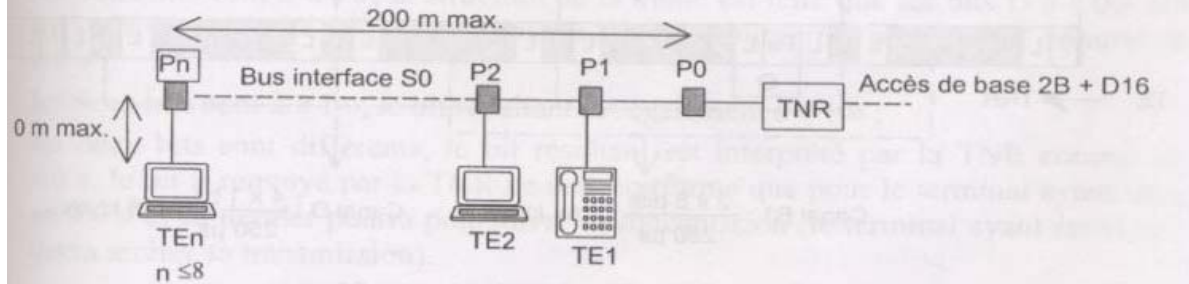


Figure 8.30 Configuration à bus passif

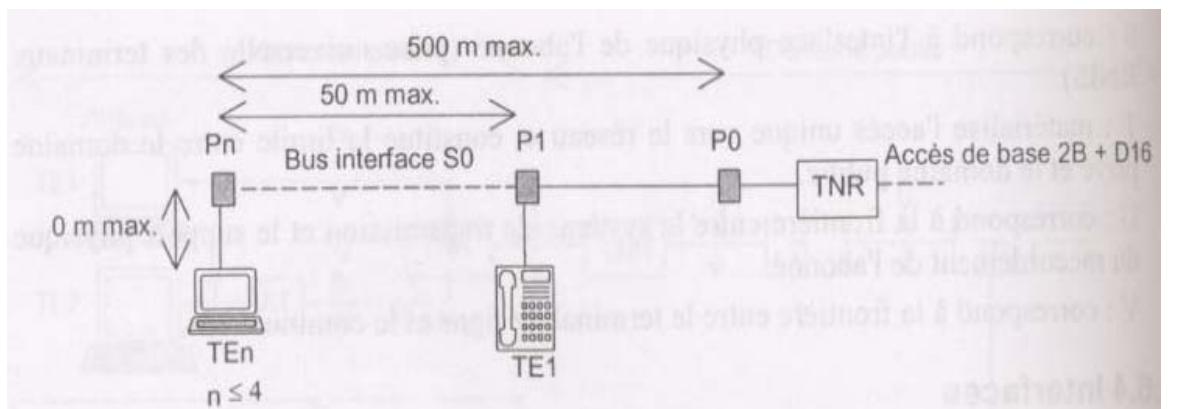


Figure 8.31 Configuration à bus étendu

> Liens fonctionnels

Les fonctions réalisées entre les groupements fonctionnels TE et TNR correspondent chacune à un canal multiplexé qui est représenté par un ou plusieurs bits dans la trame de l'interface S0 (figure 8.32). Les différents canaux (B, D, E...) sont bidirectionnels (une paire torsadée par sens de transmission) et le débit effectif sur le support est de 192 kbit/s (débit utile de  $64 + 64 + 16 = 144$  kbit/s).

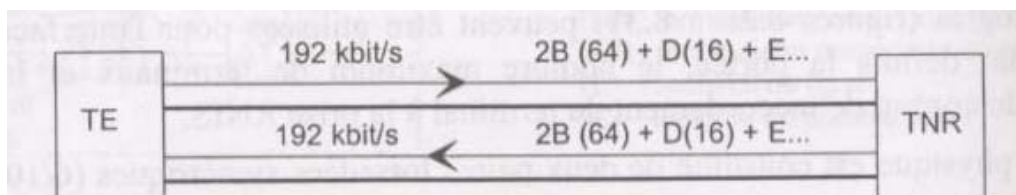
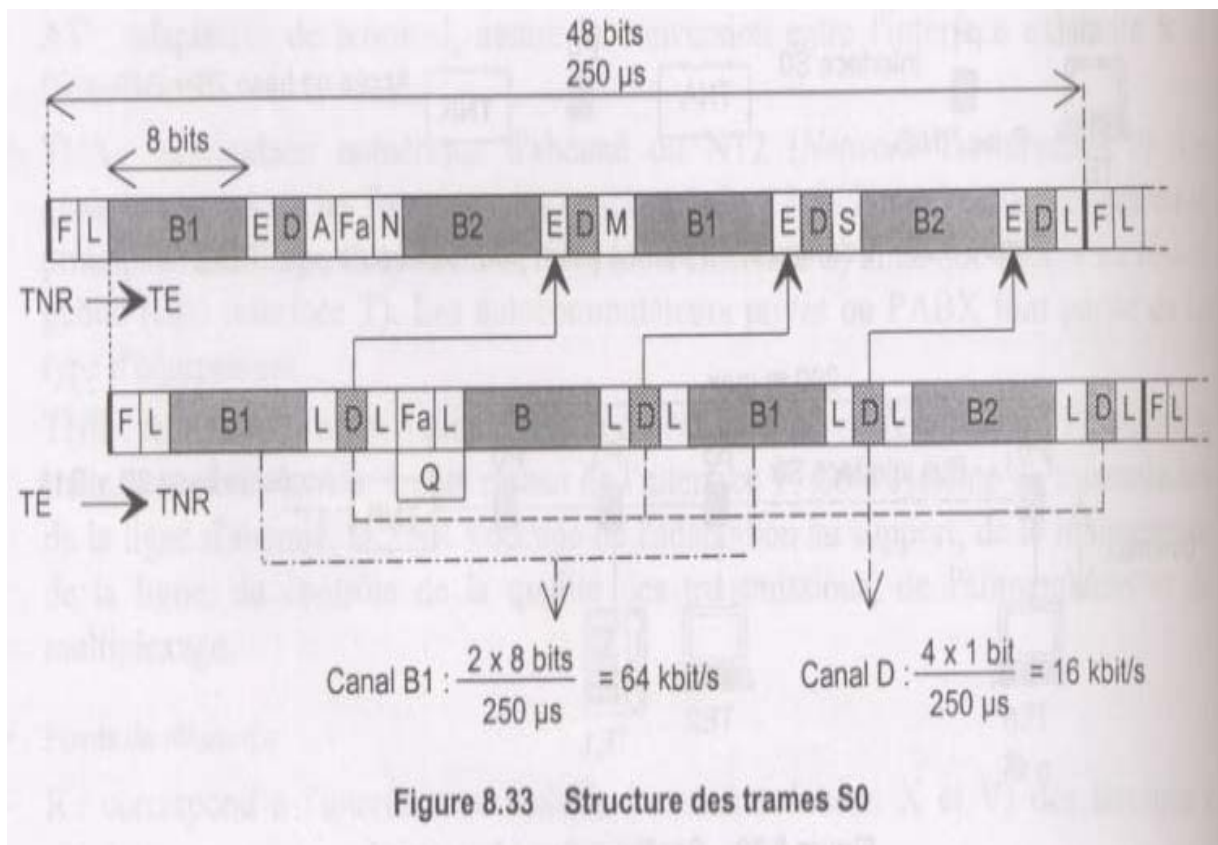


Figure 8.32 Canaux de l'interface S0

Suivant le sens de transmission, il existe deux structures de la trame. Les deux trames sont synchronisées et la trame émise par le terminal est décalée dans le temps de l'équivalent de deux bits. La figure 8.33 fait apparaître les canaux multiplexés et les débits correspondants.



La fonction transmission des informations est réalisée par les canaux B1, B2 et D. B1 et B2 sont des canaux à 64 kbit/s établis en commutation de circuits, un canal est attribué à un seul terminal pendant toute la durée de la communication. D est un canal à 16 kbit/s exploité en commutation de paquets ou de circuits et partagé par tous les terminaux connectés en liaison multipoint.

La fonction résolution des conflits d'accès au canal D est gérée par un canal E « écho » qui recopie dans la trame émise de TNR vers TE la valeur du bit D de la trame émise de TE vers TNR (figure 8.33). Cette recopie permet la diffusion de l'information à tous les terminaux quelle que soit leur place relative.

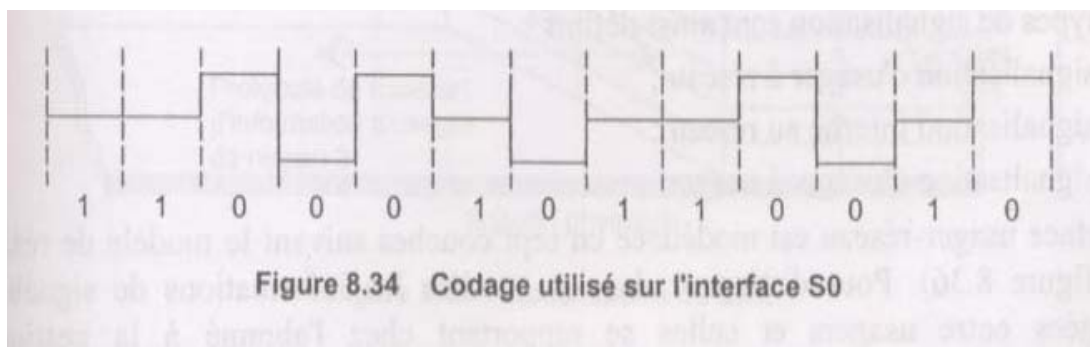
La fonction de synchronisation des terminaux est réalisée par trois niveaux d'horloge :

- l'horloge bit à 192 kHz qui est incluse dans le signal (voir codage) ;
- l'horloge trame à 4 kHz qui est transportée par les deux doublets (F, L) et (Fa, N) et qui permet le multiplexage/démultiplexage des canaux ;
- l'horloge multitrame à 200 Hz transportée par le bit M.

Les fonctions de gestion de l'alimentation et de maintenance sont assurées par les bits A, S et Q.

### > Codage

Le code utilisé pour la transmission sur l'interface S0 est un code pseudo-ternaire. Un « 0 » logique est transmis par une impulsion alternativement positive et négative de la durée d'émission d'un bit, un « 1 » logique est transmis par une absence de signal de la même durée (figure 8.34).



Lors de l'émission simultanée sur le canal D par deux terminaux, trois cas peuvent se produire :

- les deux bits sont à « 0 », la structure de la trame est telle que les bits D à « 0 » ont toujours une polarité négative, le bit résultant est interprété par la TNR comme un « 0 » ;
- les deux bits sont à « 1 », le bit résultant est également à « 1 » ;



- les deux bits sont différents, le bit résultant est interprété par la TNR comme un « 0 », le bit E renvoyé par la TNR ne sera conforme que pour le terminal ayant émis un « 0 » et ce dernier pourra poursuivre sa transmission (le terminal ayant émis un 1 devra arrêter sa transmission).

## **b) Interface à débit primaire**

L'interface à débit primaire se situe au point de référence T et correspond à l'accès primaire 30B + D(64) (T2). Le débit effectif est de 2048 kbit/s. La seule topologie utilisée est du type point à point.

Les liens fonctionnels pour la transmission de l'information utilisent les canaux B et D décrits précédemment, ce qui correspond à un débit utile de 1984 kbit/s (30 x 64 kbit/s + 64 kbit/s). Les autres fonctions de gestion utilisent les canaux à hauts débits HO (384 kbit/s) et H1 (1536 kbit/s ou 1920 kbit/s).

La trame ainsi formée a une durée de 125 µs et est composée de trente-deux intervalles de huit bits.

### **8.6.5 Protocoles**

La modélisation en couches, pour lesquelles sont définis protocoles et primitives, doit tenir compte des spécificités du RNIS et particulièrement des systèmes de signalisation.

Suivant leur localisation, deux systèmes de signalisation peuvent être distingués (figure 8.35) :

- le réseau sémaphore qui est un système interne au RNIS, supportant le dialogue entre commutateurs et utilisant des canaux spécifiques (canaux sémaphores). Les protocoles utilisés par le réseau sémaphore sont définis par la norme UIT-T N°7;

- un système à la périphérie du réseau fondé sur la signalisation par le canal D. Les protocoles associés sont le LAPD pour le niveau 2 et le protocole D pour le niveau 3 (voir paragraphes 8.6.6 et 8.6.7).

Trois types de signalisation sont ainsi définis :

- la signalisation d'utilisateur à réseau ;
- la signalisation interne au réseau ;
- la signalisation d'utilisateur à utilisateur.

L'interface usager-réseau est modélisée en sept couches suivant le modèle de référence OSI (figure 8.36). Pour distinguer dans ce modèle les informations de signalisation échangées entre usagers et celles se rapportant chez l'abonné à la gestion des équipements terminaux, trois plans sont également définis :

- le plan de commande C qui désigne la signalisation effectuée par le canal D et concerne l'ensemble des protocoles de commande des appels et des compléments de service, ce plan est structuré en sept couches ;

- le plan usager U qui concerne les protocoles de mise en œuvre pour l'échange des données des canaux B et D, également organisé en sept couches ;

- le plan de gestion M, non structuré en couches, qui regroupe les fonctions locales d'exploitation des TNA et des terminaux.

Les caractéristiques de la couche physique (normes 1430/1431) sont décrites dans le paragraphe 8.6.4 qui présente les interfaces S et T pour les accès de base et les accès primaires. Les couches liaison (normes Q921) et réseau (normes Q931) sont décrites dans les paragraphes suivants.

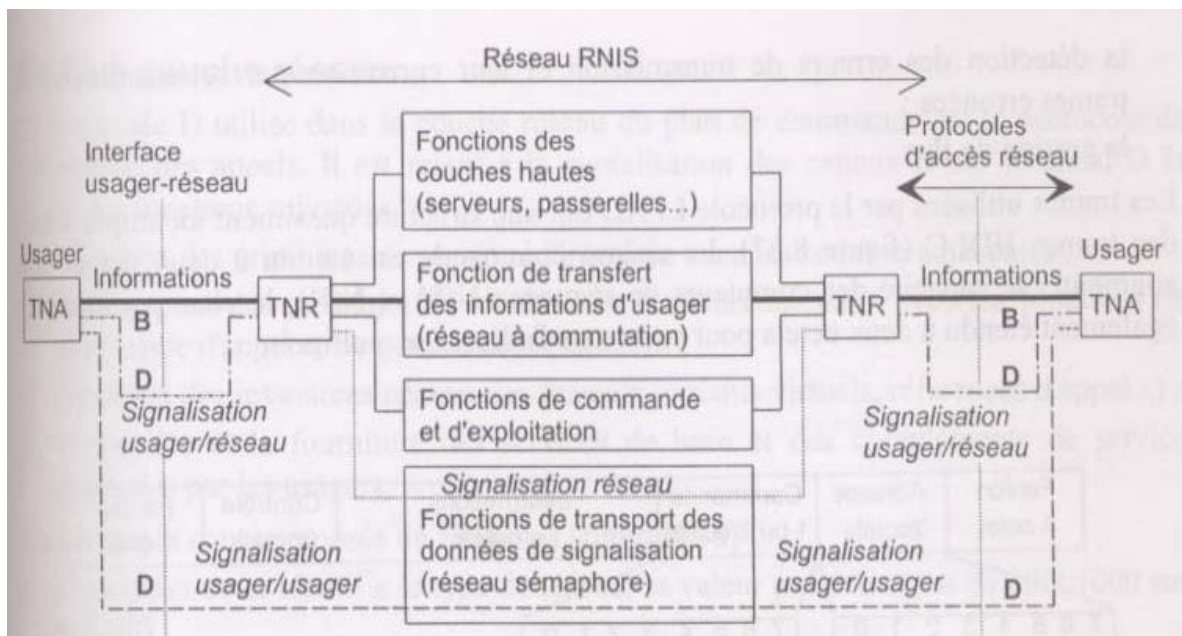


Figure 8.35 Fonctions et flux de signalisation

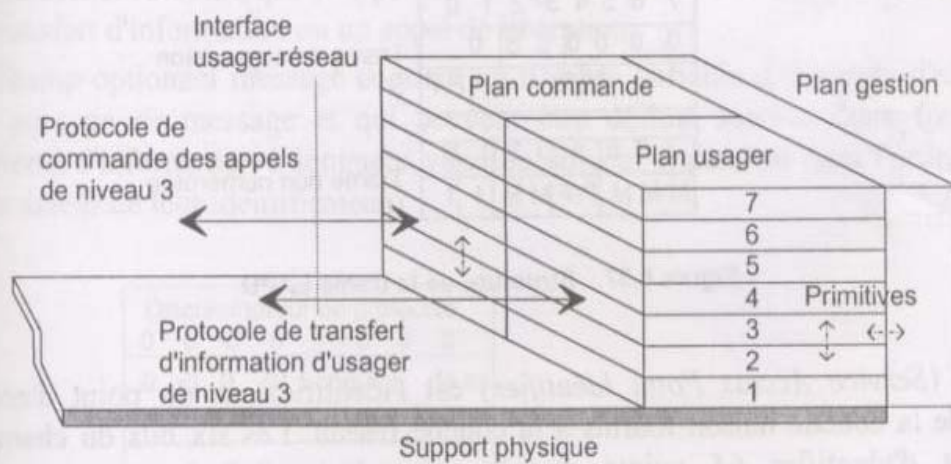


Figure 8.36 Modélisation du RNIS

### 8.6.6 La couche liaison

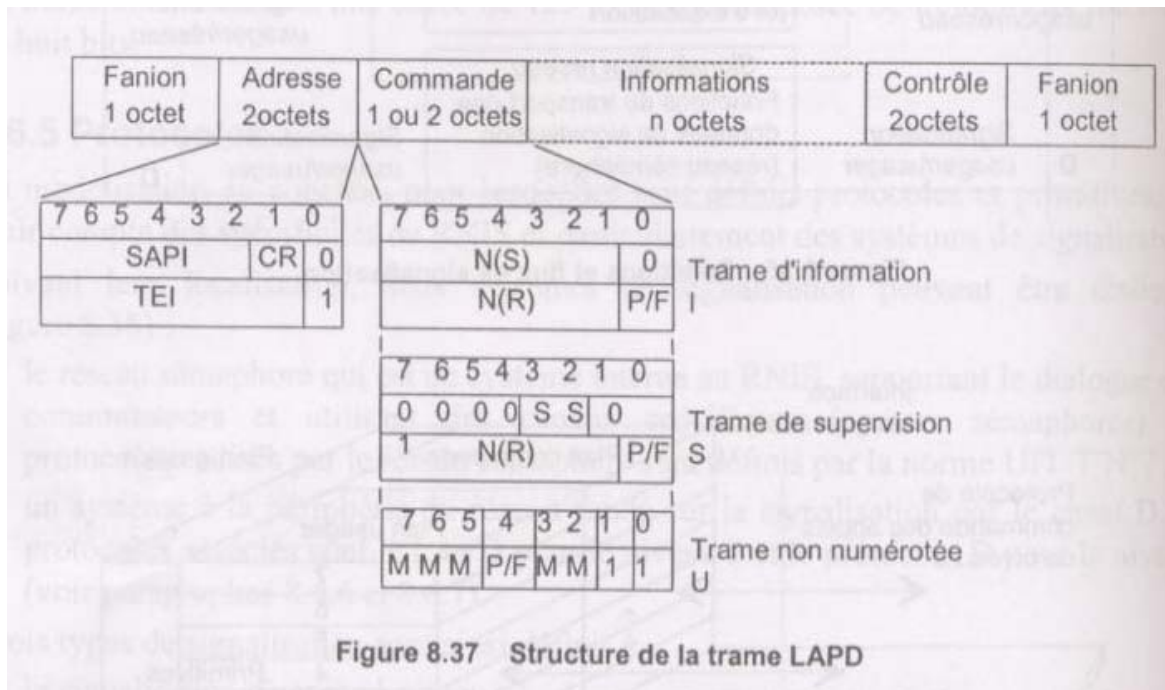
La couche liaison de données du plan de commande utilise le protocole LAPD (*Link Access Protocol on the D-channel*) qui reprend les caractéristiques du protocole LAPB (couche 2 du protocole X25) en y ajoutant des possibilités de gestion du multipoint.

Le LAPD utilise le canal D et concerne l'échange de trames entre les équipements situés de part et d'autre des interfaces S ou T (entre terminaux et TNA, et entre TNA et TNR).

Le protocole LAPD réalise les fonctions suivantes :

- la délimitation des trames au moyen des fanions, l'alignement et la transparence des trames transportées, ces fonctions sont assurées par l'enveloppe de trame HDLC ;
- le multiplexage de plusieurs liaisons de données sur le même canal D ;
- le maintien en séquence des trames lorsqu'elles sont numérotées ;
- la détection des erreurs de transmission et leur correction par retransmission de trames erronées ;
- la gestion de flux.

Les trames utilisées par le protocole LPAD ont une structure quasiment identique à celle des trames HDLC (figure 8.37). Le champ commande est étendu à deux octets pour augmenter la capacité des compteurs de séquence N(S) et N(R), le champ adresse est également étendu à deux octets pour permettre l'adressage multipoint.



Le **SAPI** (*Service Access Point Identifier*) est l'identificateur du point d'accès aux services de la couche liaison fournis à la couche réseau. Les six bits du champ SAPI permettent d'identifier 64 points d'accès aux services, seulement trois valeurs d'identificateur sont retenues :

- SAPI=0 signifie que la trame transporte l'information de signalisation permettant le contrôle des canaux B, la trame sera alors dirigée vers le réseau sémaphore ;
- SAPI=16 signifie que la trame transporte les données de paquets X25 sur le canal D ;
- SAPI=63 signifie que la trame transporte l'information de gestion du terminal d'extrémité.

Le bit **C/R** est l'indicateur de commande/réponse, positionné à "1" dans les trames de commande émises par le réseau et dans les trames de réponse émises par le terminal.

Le **TEI** (*Terminal Endpoint Identifier*) est l'identificateur de l'extrémité terminale et permet de diriger les trames vers le terminal concerné dans la liaison multipoint. Les 128 valeurs possibles sont suffisantes pour une interface S0.

La signification des différentes trames, les phases d'établissement, d'échange et de libération sont conformes aux procédures HDLC décrites précédemment.

### 8.6.7 La couche réseau

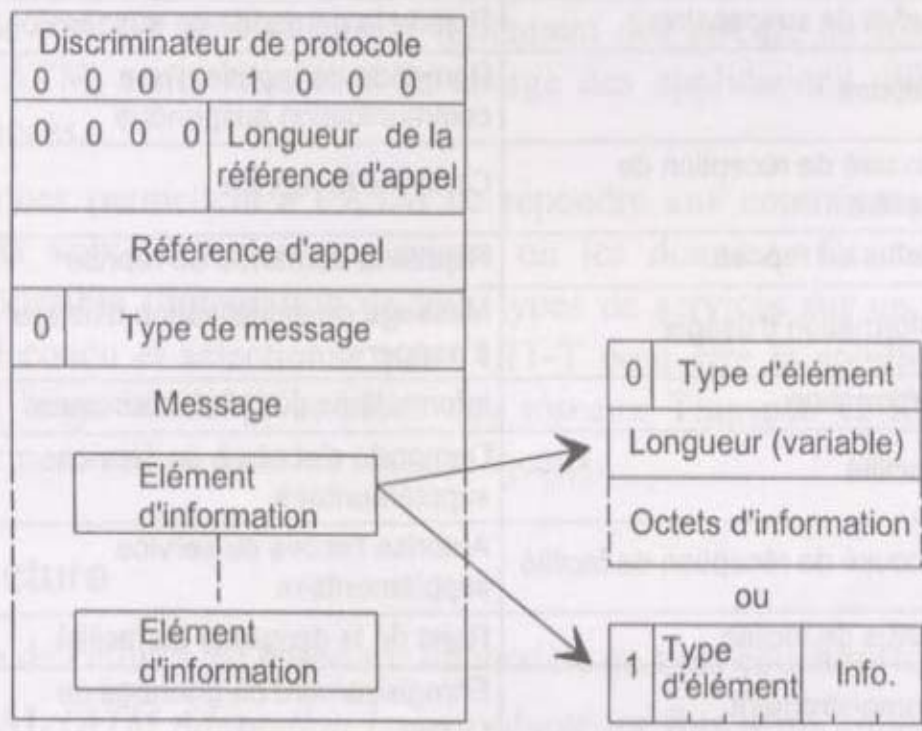
Le protocole D utilisé dans la couche réseau du plan de commande est le protocole de commande des appels. Il est relatif à la signalisation des canaux B sur le canal D et assure les fonctions suivantes :

- la gestion des primitives de service à l'interface avec les couches adjacentes ;
- le traitement des messages de niveau 3 et la communication avec les fonctions de commande d'appel et de gestion des ressources ;
- la gestion des ressources nécessaires (canaux, circuits virtuels, références d'appel...) ;
- le contrôle et la fourniture des services de base et des compléments de service demandés par les usagers.

Les messages sont composés de 5 champs (figure 8.38) :

- Le premier octet identifie le type de réseau, sa valeur par défaut est de 00001000 sur le RNIS.
- Le troisième octet caractérise un appel depuis l'établissement de la connexion jusqu'à sa libération.
- Le quatrième octet indique le type de message qui peut être un appel d'établissement, un transfert d'information ou un appel de libération.
- Le champ optionnel message contient un nombre variable d'éléments d'information liés au type de message et qui peuvent être définis suivant deux formats. Les éléments d'information à longueur variable doivent apparaître dans l'ordre croissant de la valeur de leur identificateur.





**Figure 8.38** Structure des messages du protocole D

Le tableau 8.3 présente les principaux messages utilisés par le protocole D.

Tableau 8.3 Principaux messages réseau

Phase d'appel	Type de message	Commentaire	Sens	Code
Etablissement	Etablissement	Demande d'établissement d'appel	U ↔ R	05
	Accusé de réception d'établissement	Le numéro de destination reçu est valide	U ↔ R	FF
	Alerte	L'abonné destinataire alerte	U ↔ R	01
	Appel en cours	L'appel est en cours d'établissement	U ↔ R	02
	Connexion	Réponse de l'abonné destinataire	U ↔ R	07
	Accusé de réception de connexion	Confirmation de l'abonné appelant	R → U	0F
Libération	Déconnexion	Invitation à libérer la communication	R ↔ U	45
	Libération	Confirme que la demande de libération est en cours	R ↔ U	4D
	Fin de libération	Confirme la libération de toutes les ressources	R ↔ U	5A
Transfert	Suspension	Demande la suspension d'une communication	U → R	25
	Accusé de réception de suspension	Confirme la réalisation de la suspension	R → U	2D
	Refus de suspension	Rejette la demande de suspension	R → U	21
	Reprise	Demande de reprise d'une communication suspendue	U → R	26
	Accusé de réception de reprise	Confirme la reprise	R → U	2E
	Refus de reprise	Rejette la demande de reprise	R → U	22
	Information d'utilisateur	Message de signalisation d'utilisateur à usager	R ↔ U	7B
	Information	Informations pour l'établissement	R ↔ U	7D
Facilités	Facilité	Demande d'accès à un service supplémentaire	U → R	62
	Accusé de réception de facilité	Autorise l'accès au service supplémentaire	R → U	6A
	Refus de facilité	Rejet de la demande de facilité	R → U	72
	Enregistrement	Enregistrement de données de facilité	U → R	64
	Accusé de réception d'enregistrement	Confirme l'enregistrement	R → U	EC
	Refus d'enregistrement	Rejet de la demande d'enregistrement	R → U	74

## 8.7 LE RESEAU ATM

### 8.7.1 Principe

L'ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) est une technique de transmission commutée faisant appel à des paquets courts de taille fixe appelées cellules. Dans les commutateurs, le traitement de ces cellules est limité à l'analyse de l'en tête pour permettre leur acheminement.

L'ATM combine les avantages de la communication rapide de paquets et du multiplexage temporel synchrone :

- la station source et le réseau ne sont pas liés par la nécessité d'émettre ou de recevoir une quantité d'information en synchronisme avec une trame de durée fixe ;
- la communication est indépendante de la nature des informations véhiculées (voix, données, images : VDI) et un débit minimum peut être garanti ;
- la cellule a une taille fixe, ce qui permet de concevoir des commutateurs relativement simples et performants ;
- la cellule a une taille courte (53 octets), ce qui permet l'adaptation à différents types de trafics avec une gigue réduite (variation des intervalles de temps entre cellules).

Les cellules sont transmises au rythme du débit engendré par l'application. L'échange avec le réseau est donc **asynchrone** et la station source seule gère son débit, dans les limites d'un contrat défini en début de communication (*bandwith on demand*).

De base ATM est orienté connexion. Les connexions sont établies pour toute la durée des échanges par l'allocation d'un chemin virtuel (voix virtuelle ou conduit virtuel).

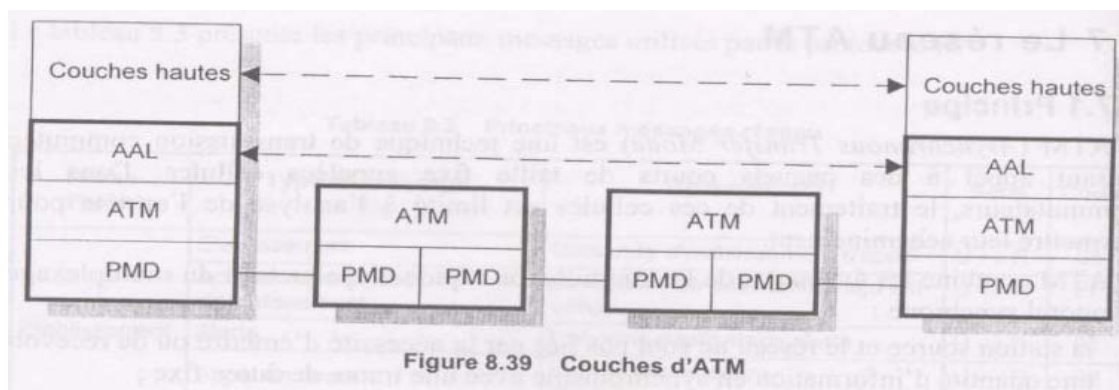
Les fonctions de contrôle de flux ou de traitement des erreurs ne sont pas effectuées dans le réseau ATM, mais laissées à la charge des applications utilisatrices ou des équipements d'accès.

Ces caractéristiques permettent à l'ATM de répondre aux contraintes de trafics aussi différents que la voix, la vidéo numérique ou les données. Ce mode de transfert universel rend possible l'intégration de tous types de services sur un accès unique au réseau. D'abord conçu et sélectionné par l'UIT-T pour être la solution technique des réseaux publics large bande (à la place des réseaux Transpac et RNIS en France), l'ATM est également utilisé dans les réseaux locaux.

### 8.7.2 Architecture

La commutation de cellules est basée sur un modèle en trois couches (figure 8.39) :

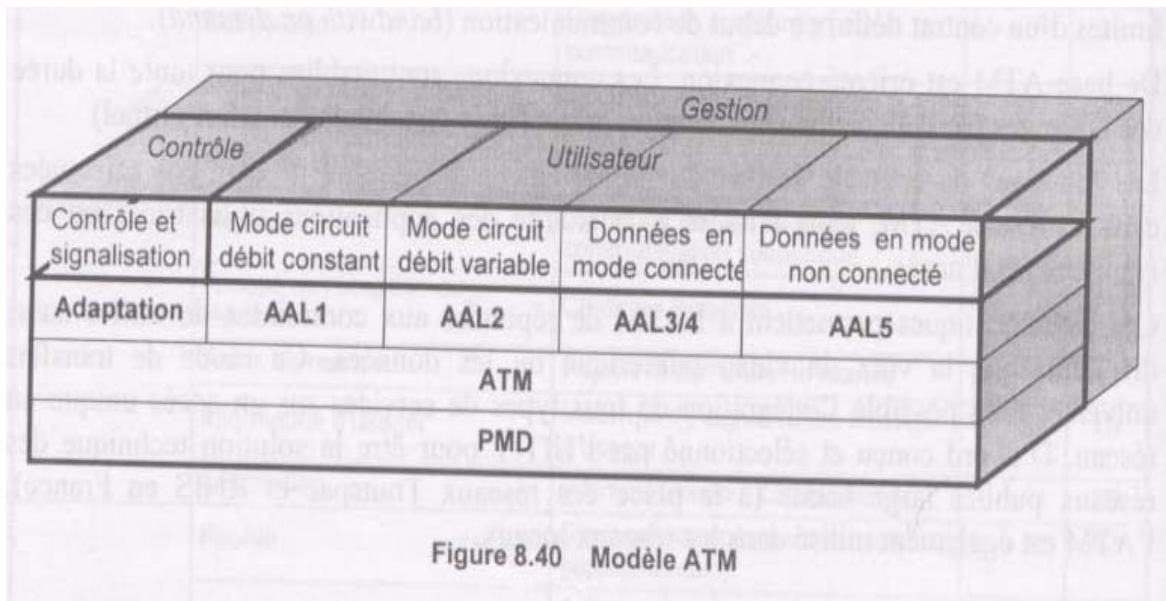
- la couche **AAL** (*ATM Adaptation Layer*) adapte les flux d'informations à la structure des cellules et fait le lien avec les couches applicatives ;
- la couche **ATM** assure la communication et le multiplexage des cellules ;
- la couche **Physique** ou **PMD** (*Physical Medium Dependent*) assure l'adaptation au support utilisé.



Le modèle est en trois dimensions, définissant 3 plans (figure 8.40) :

- un plan utilisateur pour transférer les informations venant des applications des utilisateurs ;
- un plan de contrôle lié aux problèmes de signalisation ;
- un plan de gestion responsable de la gestion et de la coordination des différents plans.





### 8.7.3 Couche physique

La couche *Physical Medium Dependent* assure les fonctions :

- adaptation du débit (caractères de bourrage) ;
- protection de l'en-tête par le HEC (somme de contrôle pour la détection et la correction d'erreur) ;
- délimitation des cellules ;
- adaptation au support de transmission ;
- codage suivant le débit utilisé (155 et 622 Mbit/s).

### 8.7.4 Couche ATM

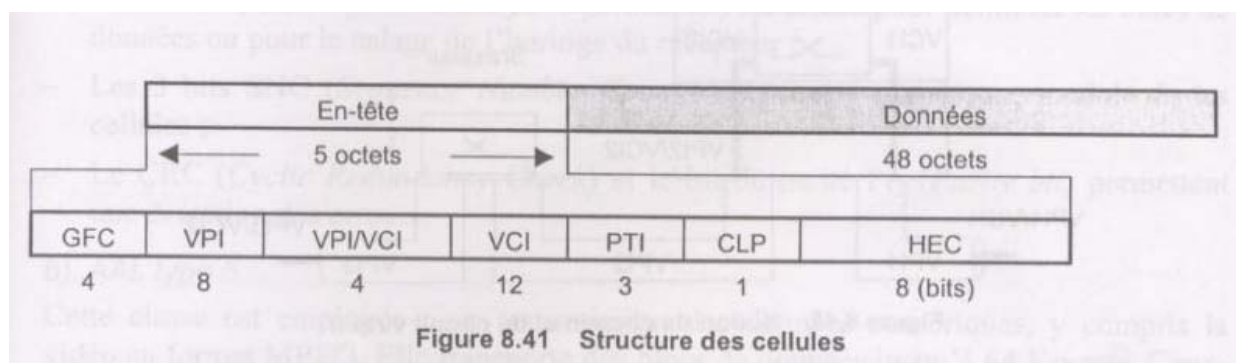
Cette couche a pour rôle de convertir les flux de données en cellules et de gérer la commutation et le multiplexage de celles-ci. Le trafic utile (voix, vidéo, images et données) est encapsulé dans les cellules de 53 octets pour être véhiculé sur le réseau.

La couche ATM est complètement indépendante du support physique utilisé pour transporter les cellules.

#### a) Structure des cellules

La cellule a une longueur de 53 octets et contient 2 champs principaux (figure 8.41) :

- l'en-tête sur 5 octets dont le rôle principal est d'identifier les cellules appartenant à une même connexion et d'en permettre l'acheminement ;
- le champ de données sur 48 octets correspondant à la charge utile.



L'en-tête comporte les champs suivants :

- un champ de contrôle de flux (GFC, *Generic Flow Control*) dont la définition n'est pas arrêtée ;
- trois octets sont utilisés pour l'identificateur logique (VPI, *Virtual Path Identifier* et VCI, *Virtual Channel Identifier*) ;

- trois bits sont consacrés à la définition du type de la charge utile (PTI, *Payload Type Identification*) et permettent de définir s'il s'agit d'informations utilisateur (indication de congestion, données de type 0 ou 1) ou de messages de service du réseau (maintenance, gestion des ressources du réseau) ;

- un bit de référence à l'écartement (CLP, *Cell Loss Priority*) mis à 1 dans les cellules transportant des données de moindre importance pouvant être rejetées en cas de congestion du réseau ;

- un octet pour la détection des erreurs et la correction des erreurs simples portant sur l'en-tête (HEC, *Header Error Check*) et géré par la couche physique.

## b) Fonctions de la couche ATM

La couche ATM assure quatre fonctions essentielles :

- la commutation consistant en un traitement sur l'en-tête de la cellule (champs VPI et VCI). Ces champs sont soit insérés soit extraits et traduits afin d'aiguiller correctement la cellule ;

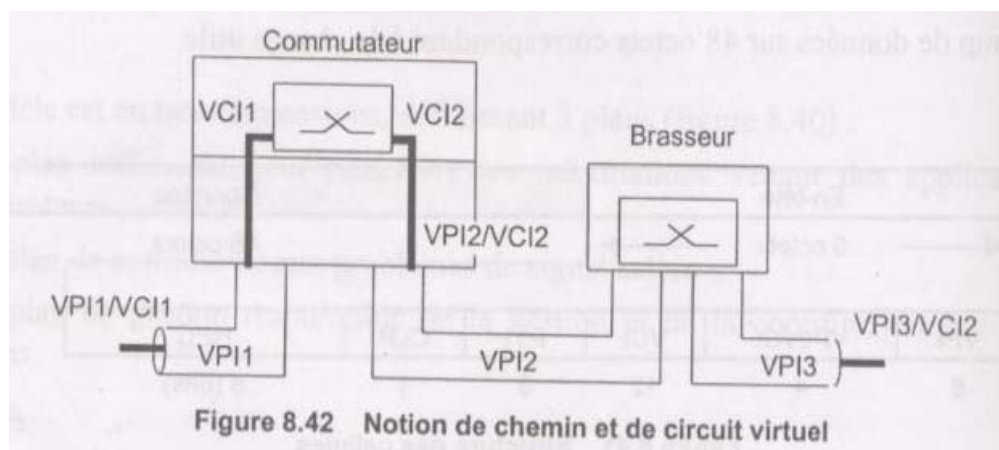
- le multiplexage-démultiplexage des cellules consistant principalement en une gestion de files d'attente ;

- l'extraction ou l'ajout de l'en-tête devant le champ d'information avant de la transmettre à la couche d'adaptation AAL ou à la couche physique ;

- un mécanisme de contrôle de flux peut être implémenté par l'intermédiaire du champ GFC, pour l'interface utilisateur-réseau.

## c) Routage des cellules

Les informations sont transportées par des circuits virtuels (VC) regroupées dans des chemins virtuels (VP). Les chemins virtuels représentent des conduits reliant des commutateurs dans un réseau maillé (figure 8.42).



Le commutateur est l'élément de base permettant d'orienter correctement les cellules dans le réseau. Il agit en fonction des valeurs des indicateurs VPI et VCI contenus dans les cellules et à l'aide de tables de routage, afin de modifier en conséquence l'en-tête de la cellule et mettre en correspondance un port d'entrée avec un port de sortie (voir chapitre 5, paragraphe 5.3.3).

### 8.7.5 Couche d'adaptation AAL

La couche d'adaptation (*ATM Adaptation Layer*) est chargée de fournir une qualité de service aux applications. Pour cela, elle assure :

- la mise en oeuvre des protocoles de bout en bout ;
- la segmentation/réassemblage des messages en cellules.

Par ailleurs, la couche adaptation est structurée en deux sous-couches :

- la sous-couche SAR (*Segmentation And Reassembly*) qui assure la détection des cellules perdues ou dupliquées et le bourrage des cellules incomplètes ;
- la sous-couche CS (*Convergence Sublayer*) qui gère le traitement des erreurs détectées par la sous-couche SAR, par retransmission ou correction.

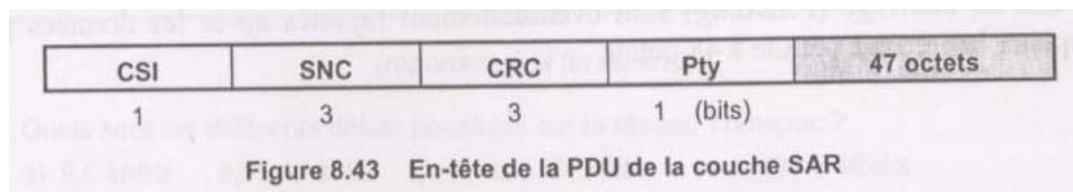
5 classes de service ont été définies en fonction des flux :

- classe 1 pour les flux à débit constant de type voix ;
- classe 2 pour les flux à débit variable de type vidéo ;
- classe 3/4 pour les transmissions de données en mode connecté ou non ;
- classe 5 version simplifiée de la classe 3/4.

Parmi les 5 classes prévues, 2 sont principalement implémentées dans les équipements la classe 1 pour l'émulation de circuit et la classe 5 pour les données informatiques et la vidéo numérique.

### a) AAL type 1

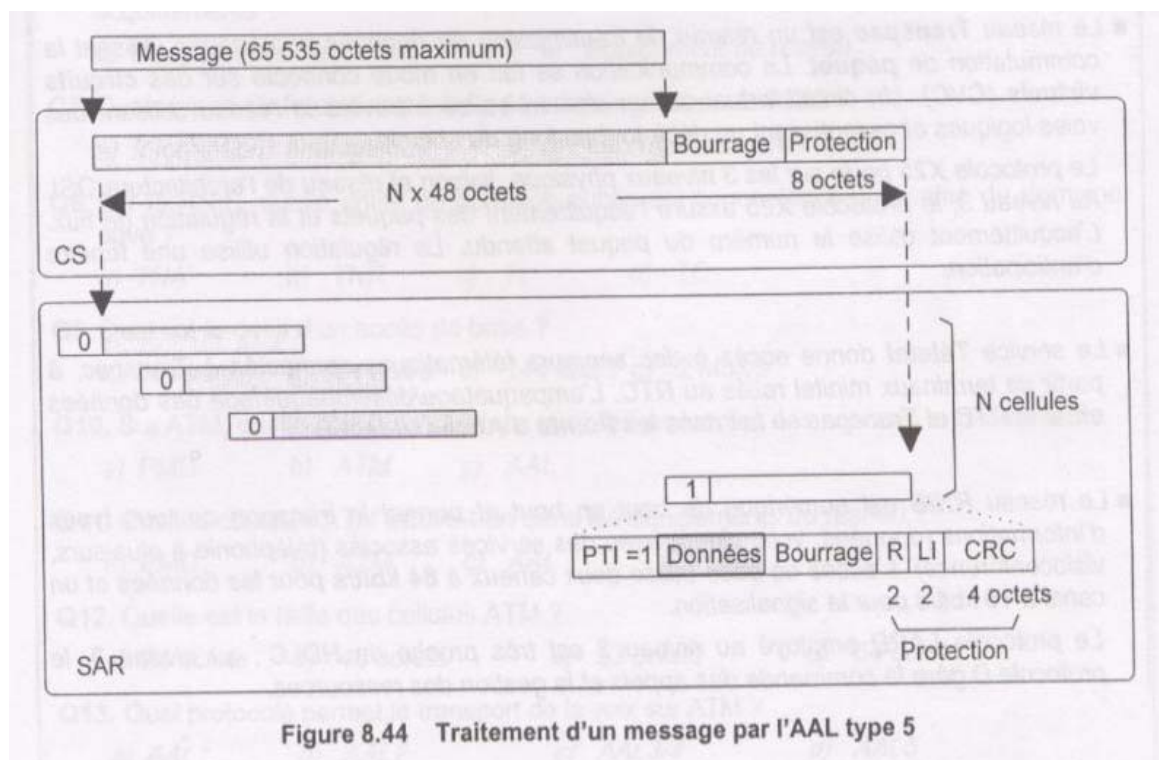
Elle est utilisée pour les communications de type voix. Seul un octet de la charge utile est occupé par l'en-tête (figure 8.43).



- Le bit *CSI* (*Convergence Sublayer Information*) est utilisé pour délimiter les blocs de données ou pour le calage de l'horloge du récepteur ;
- Les 3 bits *SNC* (*Sequence Number Counter*) servent à numérotter, modulo 8, les cellules ;
- Le *CRC* (*Cyclic Redundancy Check*) et le bit de parité *Pty* (*Parity bit*) permettent une détection des erreurs.

### b) AAL type 5

Cette classe est employée pour transmission des données numériques, y compris la vidéo au format MPEG. Elle transporte des blocs de données jusqu'à 64 Koctets. Ceux-ci sont divisés en cellules de 48 octets (figure 8.44).



La dernière cellule est identifiée par un champ PTI (Payload Type Identification) à 1, elle contient 8 octets spécifiques :

- 2 octets réservés (*Reserved*) pour un usage ultérieur ;
- 2 octets *LI* (*Length Indicator*) donnant le nombre d'octets utiles dans la cellule (là 44) ;
- 4 octets *CRC* pour la détection d'erreurs.

Des bits de bourrage (*PADDING*) sont éventuellement rajoutés après les données pour compléter la dernière cellule à 48 octets.



## Résumé

- Un réseau de télécommunication est constitué d'un réseau de **câbles** du câblo-opérateur et des services de **transport** des informations de l'opérateur de transport.

Les réseaux d'opérateurs sont des réseaux **commutés** ou des réseaux de **lignes louées**.

- En France, les 3 principaux réseaux commutés sont : le **Réseau Téléphonique Commuté**, le réseau **Transpac**, le réseau **RNIS**.

Le **RTC** utilise la commutation de circuit. Il est organisé en boucle locale et réseau d'interconnexion.

- Le réseau **Transpac** est un réseau de transmission de données numériques utilisant la commutation de **paquet**. La communication se fait en mode connecté sur des **circuits virtuels** (CVC). Un circuit virtuel est un chemin balisé à travers le réseau utilisant des voies logiques et garantissant un débit tout au long du chemin.

Le protocole **X25** porte sur les 3 niveaux physique, liaison et réseau de l'architecture OSI. Au niveau 3, le protocole X25 assure l'acquittement des paquets et la régulation de flux. L'acquittement utilise le numéro du paquet attendu. La régulation utilise une fenêtre d'anticipation.

- Le service **Téletel** donne accès à des serveurs télématiques connectés à Transpac, à partir de terminaux minitel reliés au RTC. L'empaquetage/déempaquetage des données entre le RTC et Transpac se fait dans les **Points d'Accès Videotex**.

- Le réseau **RNIS** est numérique de bout en bout et permet le transport de tous types d'informations (données, voix, vidéo) avec des services associés (téléphonie à plusieurs, visioconférence). L'accès de base utilise deux canaux à **64 kbit/s** pour les données et un canal à 16 kbit/s pour la signalisation.

Le protocole LAPD employé au niveau 2 est très proche de HDLC ; au niveau 3, le protocole D gère la commande des appels et la gestion des ressources.

- **ATM** est une technique de transmission commutée utilisée dans les réseaux large bande ainsi que dans les réseaux locaux. Les messages sont découpés en **cellules** de 53 octets, celles-ci sont transmises dans des chemins virtuels reliant les commutateurs.

Le modèle ATM est basé sur 3 couches : la couche physique **PMD**, la couche **ATM** qui assure la commutation et multiplexage des cellules et la couche **AAL** qui fait le lien avec les couches supérieures.

## QCM

(réponses à la fin du livre)

- Q1.** Quels sont les différents débits possibles sur le réseau Transpac ?  
a) 9,6 kbit/s    b) 48 kbit/s    c) 64 kbit/s    d) 2 Mbit/s
- Q2.** Quel est le débit maximum lors d'une transmission sur Transpac avec un accès par le RTC ?  
a) 9,6 kbit/s    b) 48 kbit/s    c) 64 kbit/s    d) 2 Mbit/s
- Q3.** Quelle est la taille des paquets transportés à travers le réseau Transpac ?  
a) 32 octets    b) 64 octets    c) 128 octets    d) 256 octets
- Q4.** Quelle est la taille maximale de la fenêtre d'émission ?  
a) 5    b) 8    c) 12    d) 16
- Q5.** Quels sont les codes Télétel correspondant au service kiosque ?  
a) 3613    b) 3614    c) 3615    d) 3616
- Q6.** Dans les réseaux à relais de trame, quels sont les équipements chargés des acquittements ?  
a) Equipements d'extrémité    b) Equipement de réseau
- Q7.** Quels types d'information peuvent être échangées sur le RNIS ?  
a) Informations analogiques    b) Informations numériques
- Q8.** Sur le RNIS, quelle entité du domaine public est connectée à une entité du domaine privé ?  
a) TNA    b) TNR    c) TL    d) TC
- Q9.** Quel est le débit d'un accès de base ?  
a) 16 kbit/s    b) 64 kbit/s    c) 144 kbit/s    d) 2 Mbit/s
- Q10.** Sur ATM, quelle couche s'interface avec les protocoles des couches supérieures ?  
a) PMD    b) ATM    c) AAL
- Q11.** Quelles couches ATM trouve-t-on dans les équipements du réseau ?  
a) PMD    b) ATM    c) AAL
- Q12.** Quelle est la taille des cellules ATM ?  
a) 24 octets    b) 48 octets    c) 53 octets    d) 64 octets
- Q13.** Quel protocole permet le transport de la voix sur ATM ?  
a) AAL1    b) AAL2    c) AAL3/4    d) AAL5



## Exercices (☺ : facile ☺☺ : moyen ☺☺☺ : difficile)

(corrigés à la fin du livre)

- ☺ Citez, suivant le débit désiré et le volume d'informations à transmettre, les différentes possibilités de raccordement au réseau Transpac offertes à un usager.
- ☺ Les contrôles de flux utilisés aux niveaux 2 et 3 du protocole X25 sont-ils redondants ?
- ☺☺ Quel est l'intérêt d'un acquittement distant des paquets (contrôle de flux de bout en bout) par rapport à un acquittement local (contrôle de flux de proche en proche) ? Comment l'ETTD émetteur signifie-t-il qu'il désire un acquittement distant ?
- ☺☺☺ Etablir le diagramme d'échange de paquets correspondant à une libération par le réseau en cours d'établissement du circuit virtuel, et à une libération par le réseau alors que le circuit virtuel est établi.
- ☺☺☺ Un terminal synchrone est relié à un serveur par une liaison Transpac. Etablir le diagramme des échanges des paquets lors des phases d'établissement, de transfert de données et de libération avec les spécifications suivantes :
  - le terminal établit deux circuits virtuels avec le serveur ;
  - les NVL disponibles sont compris entre 2 et 12 ;
  - la taille des fenêtres d'émission est limitée à 2 pour les deux CVC ;
  - chaque ETTD désire transmettre trois paquets à l'autre extrémité, le premier CVC disponible est utilisé ;
  - les acquittements des paquets de données sont locaux ;
  - la libération des CVC est réalisée par le serveur.
- ☺☺☺ Deux micro-ordinateurs A et B sont reliés par un réseau Transpac/X25 ; chaque ETTD doit transmettre un message de 200 octets à l'autre. Etablir le diagramme des échanges de paquets et de trames avec les spécifications suivantes :
  - l'ETTD A ouvre un CVC avec l'ETTD B ;
  - les NVL disponibles sont compris entre 1 et 7 ;
  - la longueur des paquets est fixée à 128 pour les deux ETTD ;
  - le facteur d'anticipation au niveau liaison est égal à 7 pour les deux ETTD ;
  - la fenêtre de niveau réseau est égale à 1 pour le CVC établi ;
  - l'acquittement des paquets de données est distant ;
  - la libération du CVC est effectuée par l'ETTD appelant.
- ☺☺ Quelles sont les fonctions réalisées par la signalisation ? Comment est-elle effectuée sur le RNIS ?
- ☺☺☺ Etablir le schéma d'une installation d'un abonné au RNIS équipé d'un poste téléphonique standard, d'un télécopieur G4, d'un minitel, d'un terminal X21 et d'un réseau local de type Ethernet. Le schéma fera apparaître les différents points de référence et groupements fonctionnels nécessaires.
- ☺ Quelles sont les caractéristiques topologiques, physiques et fonctionnelles de l'interface S0 ?



10. 🐇🐇 Sur la trame de l'interface S0, quelle est la durée d'un élément d'information ? A quel débit correspondent les éléments de synchronisation ?
11. 🐇🐇 Une trame S0 émise par un terminal sur une paire symétrique est relevée à l'oscilloscope. Sa représentation est donnée figure 8.45.
- Délimiter les champs correspondant aux différents canaux.
  - Donner pour les canaux B1, B2 et D les différentes valeurs transmises sur cette trame.

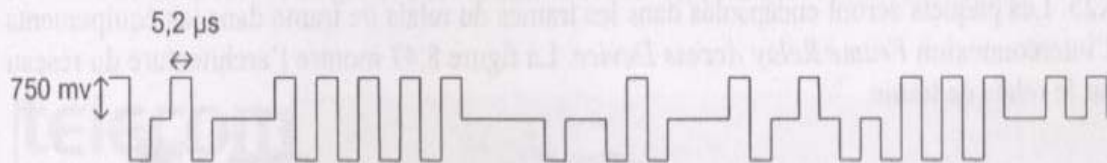


Figure 8.45 Trame S0 émise de TE vers TNR

12. 🐇🐇🐇 Sur un réseau RNIS, un terminal, après établissement de la liaison au niveau 2, envoie une trame d'information conforme au protocole LAP D et constituée des différents octets :

00 81 00 00 08 01 01 05 04 03 80 90 A3 18 01 83 24 01 80 6D 03 A0 32 32 ...

Dans cette trame est encapsulé un message de niveau 3 conforme au protocole D.

- Identifier les champs constituant l'en-tête de la trame et le message.
- Analyser le contenu de ces différents champs au niveau 2 et au niveau 3.

## Etude de cas 1 : migration X25 vers Relais de Trame

De nombreuses entreprises utilisent Transpac pour la transmission de données entre plusieurs de leurs sites. Certaines banques utilisent ce réseau pour le dialogue entre les agences et les services informatiques centraux. La figure 8.46 montre l'architecture d'une telle entreprise.

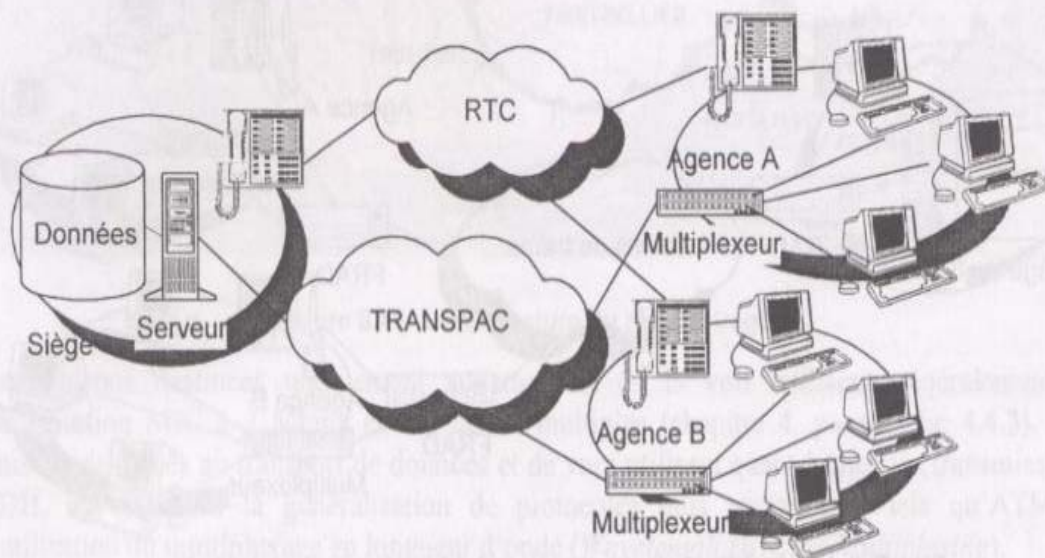


Figure 8.46 Architecture du réseau de données sur Transpac

Les liaisons entre les équipements et le réseau sont des lignes louées. Les débits vont de 64 kbit/s à 2 Mbit/s.

L'amélioration des performances de ces liaisons passe par l'augmentation des débits. A moyen terme, les entreprises souhaitent utiliser ces liaisons pour leurs communications téléphoniques. En attendant la commercialisation de solutions ATM, le relais de trame offre une solution intermédiaire. La migration s'effectue en 2 étapes.

**La première étape** s'intéresse au trafic des données. Les équipements utilisent le protocole X25. Les paquets seront encapsulés dans les trames du relais de trame dans les équipements d'interconnexion *Frame Relay Access Device*. La figure 8.47 montre l'architecture du réseau sur le relais de trame.

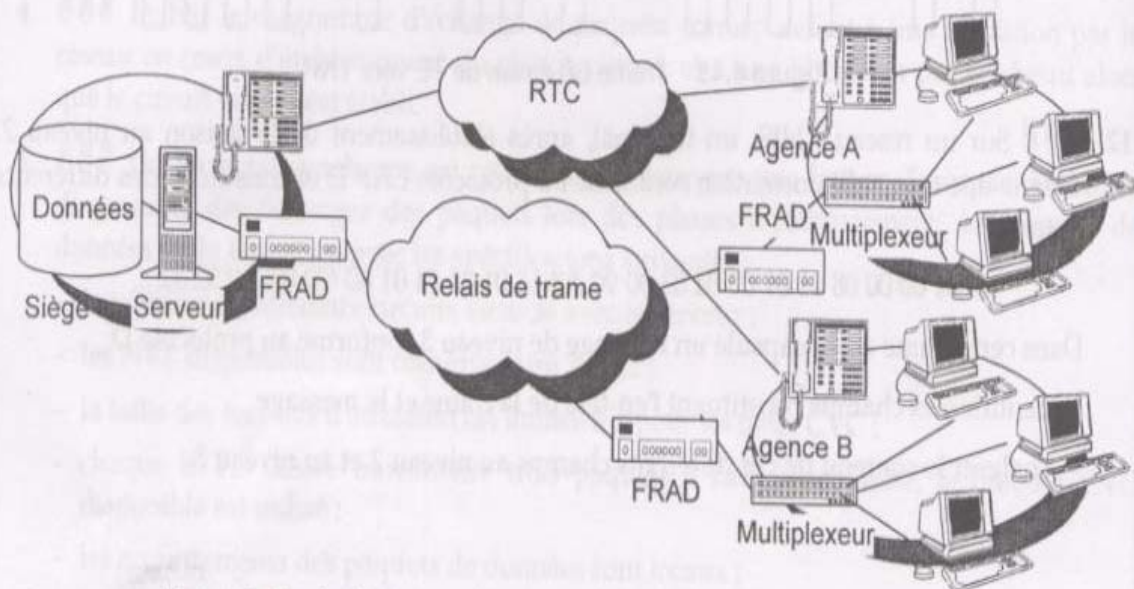


Figure 8.47 Architecture du réseau de données sur relais de trame

**La seconde étape** intègre les équipements voix dans le réseau relais de trame. L'intégration de la voix dans des trames du relais de trame est rendue possible par la négociation d'un débit minimum garanti à l'établissement de la communication. Il n'existe pas aujourd'hui de solution commerciale normalisée. Par contre plusieurs opérateurs proposent des solutions voix propriétaires. Ces solutions s'appuient sur des équipements d'accès FRAD disposant de fonctions de « paquetisation » de la voix (figure 8.48).

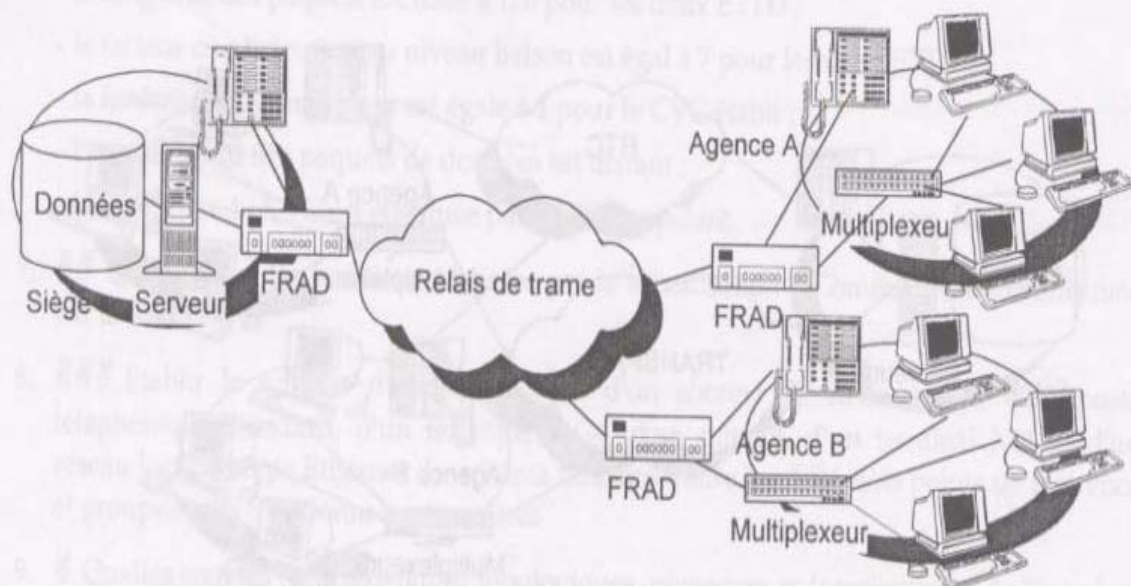


Figure 8.48 Architecture du réseau voix/données sur relais de trame



## Etude de cas 2 : architecture d'un réseau d'opérateur

Aujourd'hui, les réseaux d'opérateurs utilisent tous des liaisons par fibre optique pour les interconnexions inter-régionales. La topologie maillée a été abandonnée au profit d'une topologie en boucle. La plupart des opérateurs emploient une interconnexion nationale dite en pétale. Dans cette topologie, toutes les boucles passent par Paris. La figure 8.49 montre l'architecture du réseau Cégétel. Cette architecture est typique des réseaux modernes.

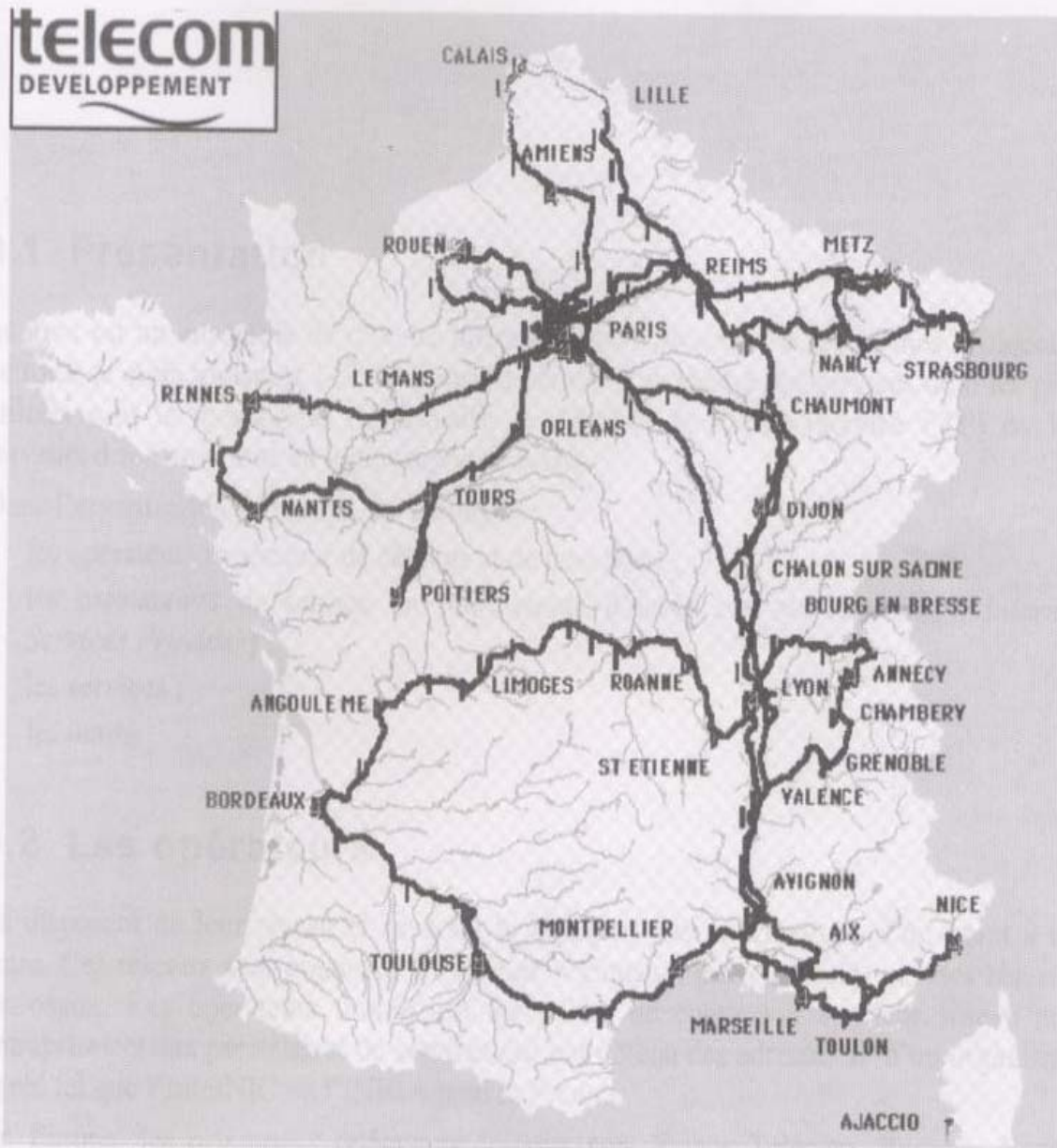


Figure 8.49 Architecture du réseau Cégétel

Les liaisons destinées uniquement au transport de la voix utilisent généralement la transmission MIC à 2 Mbit/s et des débits multiples (chapitre 4, paragraphe 4.4.3). Les liaisons destinées au transport de données et de voix utilisent quant à elles les transmissions SDH, en attendant la généralisation de protocoles plus performants tels qu'ATM et l'utilisation du multiplexage en longueur d'onde (*Wavelength Division Multiplexing*).



## Chapitre 8

### QCM

Q1 a) ; b)	Q2 a)	Q3 c)	Q4 b)	Q5 c) ; d)	Q6 a)	Q7 b)
Q8 b)	Q9 c)	Q10 c)	Q11 a) ; b)	Q12 c)	Q13 a)	

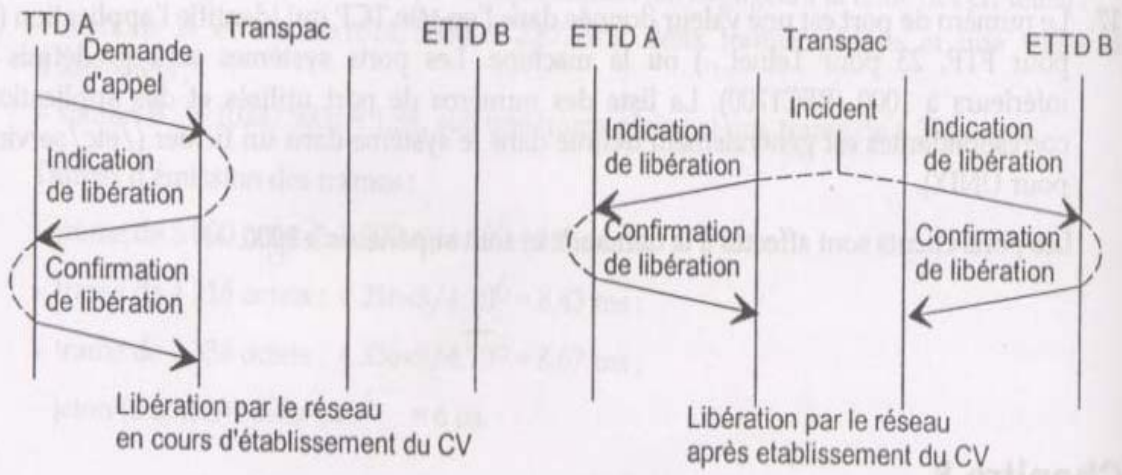
### Exercices

1. Pour de faibles volumes et des débits limités à 2 400 bit/s, le raccordement peut être réalisé en asynchrone via le RTC (procédure X32 + PAD). Pour des débits jusqu'à 9 600 bit/s un accès synchrone via le RTC peut être utilisé (procédure X32). Pour des volumes importants et des débits allant jusqu'à 48 000 bit/s, l'accès doit être réalisé par un liaison synchrone X25.
2. Au niveau 2, le contrôle de flux concerne les trame échangées sur la liaison d'accès entre la station et le réseau. Au niveau 3, le contrôle de flux est réalisé sur chaque circuit virtuel pour la gestion des paquets échangés. Ces deux contrôles de flux ne sont donc pas redondants.
3. Pour un contrôle de flux de bout en bout, un paquet émis ne sera acquitté par le réseau que lorsque l'ETTD destinataire l'aura lui-même acquitté. Une perte de paquets entre les deux extrémités peut ainsi être détectée. En revanche, l'acquiescement distant entraîne des temps de transferts plus importants.

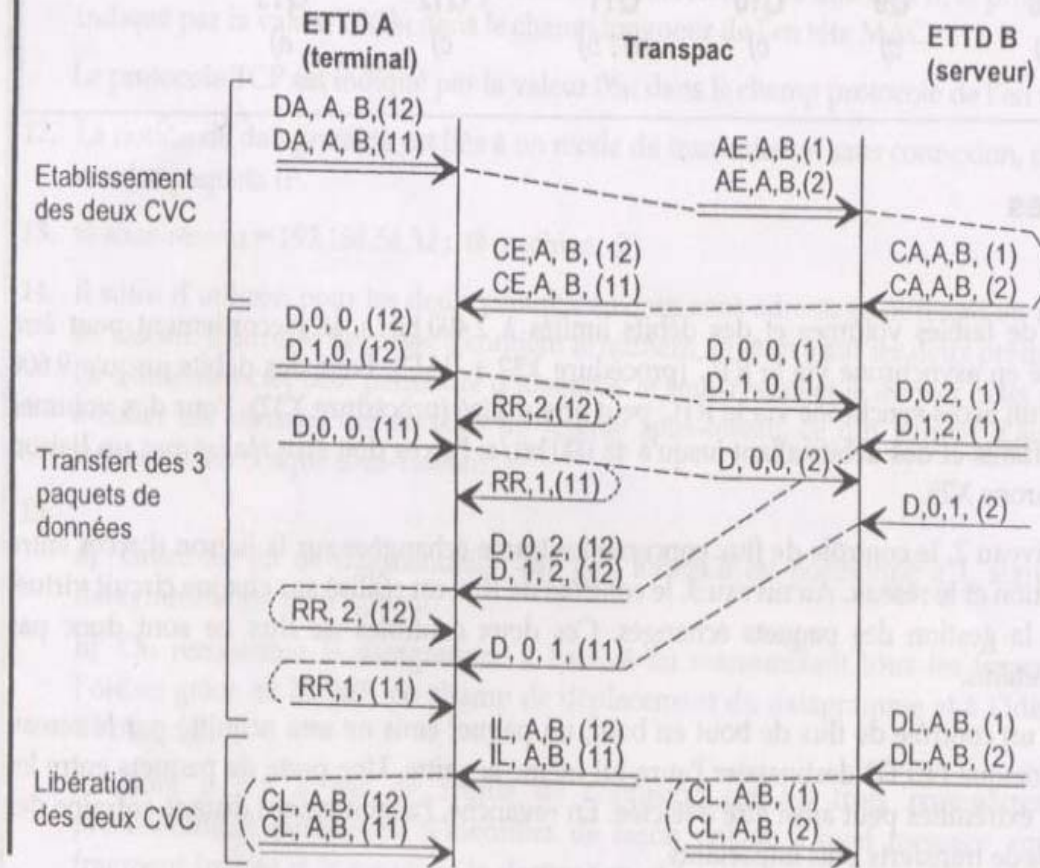
Pour un contrôle de flux de proche en proche, un temps de transfert minimal pourra être garanti, mais en cas de perte d'un paquet à un nœud quelconque du réseau, l'intégrité des données devra être assurée au niveau supérieur par la couche transport.

L'ETTD émetteur signifie qu'il désire un acquiescement distant en positionnant à 1 le bit D du premier octet du paquet de données transmis.

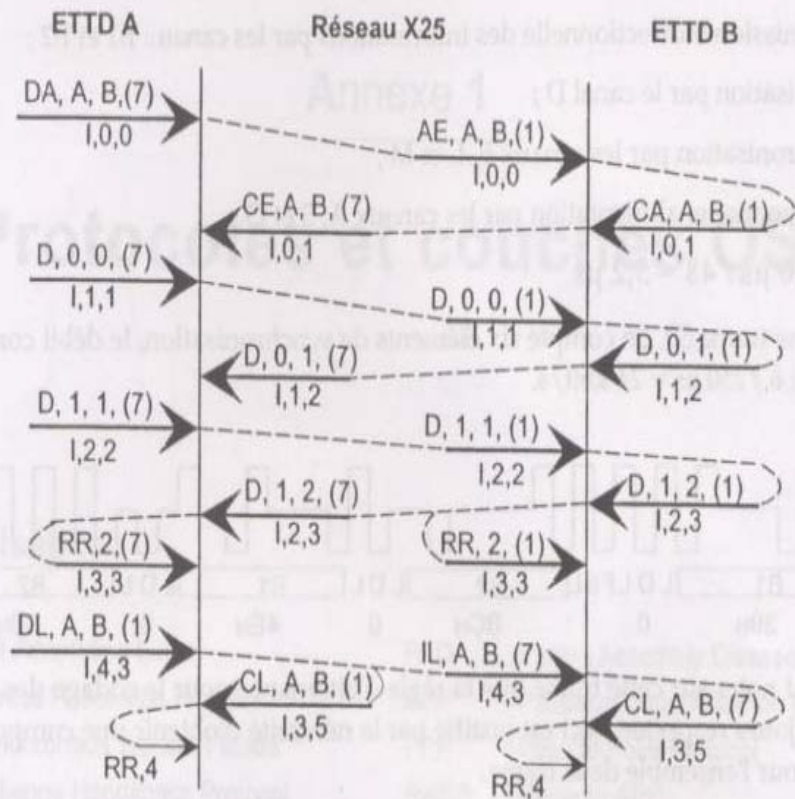
4.



5. Pour chaque transfert, sont indiqués la nature des paquets (D pour Données ...), le numéro de voie logique (11, 12, ...) et les valeurs des compteurs (RR, 2 ...).



6. Deux paquets de données sont nécessaires pour transmettre le message de 200 octets. Les valeurs des compteurs pour les trames I sont indiquées sous les flèches.



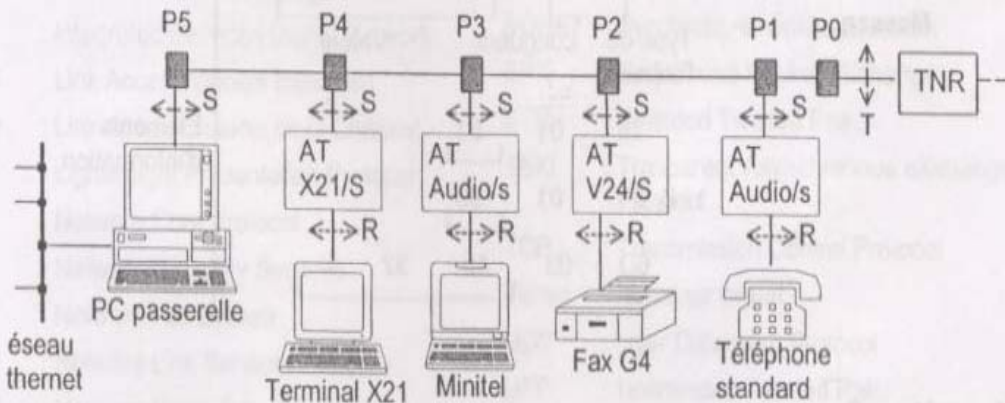
7. La signalisation qui peut être définie comme l'ensemble des échanges de signaux entre les entités fonctionnelles d'un réseau a pour fonction de gérer les signaux destinés à l'établissement, à la libération et à la gestion des ressources.

Sur le RNIS, on distingue deux systèmes de signalisation :

- la signalisation interne par réseau sémaphore ;
- la signalisation à la périphérie par le canal D.

Suivant le ou les systèmes utilisés, la signalisation peut être effectuée entre l'utilisateur et le réseau, entre usagers ou être interne au réseau.

8.



9. L'interface S0 peut être associée à une topologie point à point ou à une topologie de type bus passif ou étendu.

Le support utilisé est constitué de deux paires symétriques reliées à une prise normalisée à huit contacts.



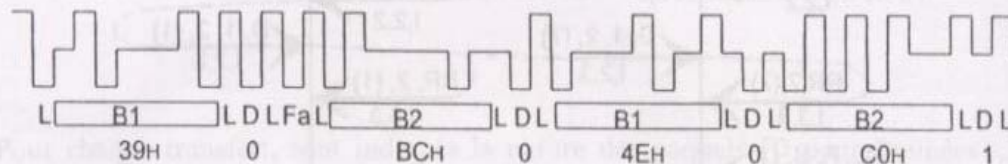
Les principales caractéristiques fonctionnelles de l'interface S0 sont les suivantes :

- localisation aux points de référence S et T, entre les groupements TE et TNR (ou TNA) ;
- transmission bidirectionnelle des informations par les canaux B1 et B2 ;
- signalisation par le canal D ;
- synchronisation par les canaux F, L et M ;
- maintenance et alimentation par les canaux A, S et Q.

10.  $IT = 250 \mu s / 48 = 5,2 \mu s.$

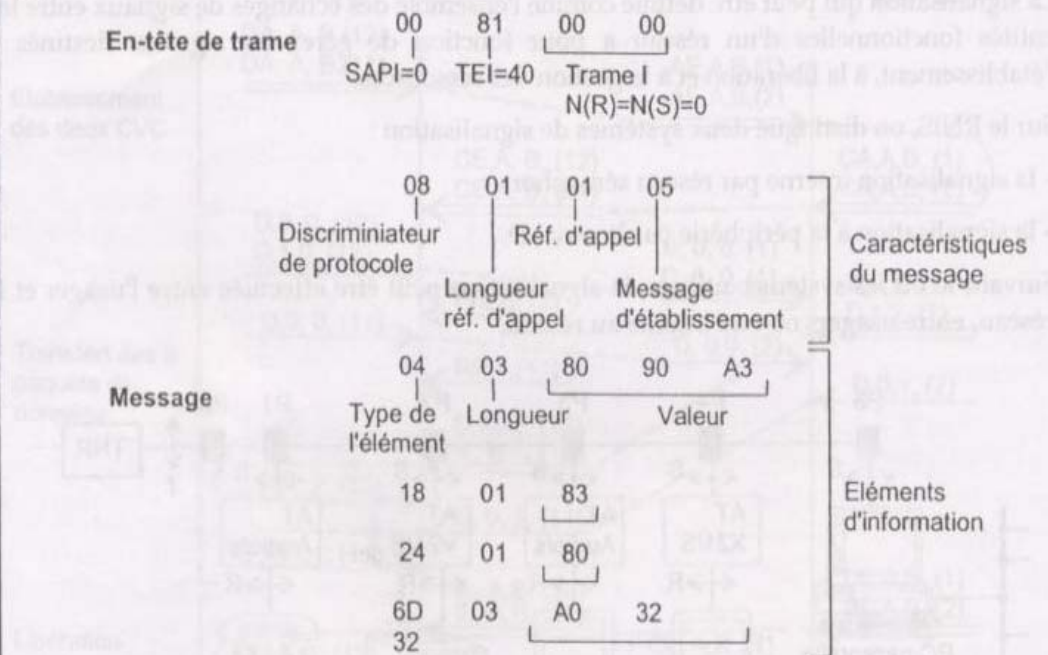
Pour une trame S0, on compte six éléments de synchronisation, le débit correspondant est donc de  $6 / 250 \mu s = 24 \text{ kbit/s}.$

11.



On peut noter sur cette trame que la règle d'alternance pour le codage des niveaux 0 n'est pas toujours respectée, ceci est justifié par la nécessité d'obtenir une composante continue nulle pour l'ensemble de la trame.

12.



## Chapitre 9

### Le réseau Internet

#### 9.1 PRESENTATION

Internet est un ensemble de réseaux interconnectés utilisant tous les mêmes protocoles de routage et de transport TCP/IP. Internet permet d'accéder à des services dont les plus utilisés sont la messagerie (le Email), le transfert de fichier (service FTP) ou les serveurs d'informations en ligne (serveurs Web).

Dans l'organisation d'Internet, on distingue :

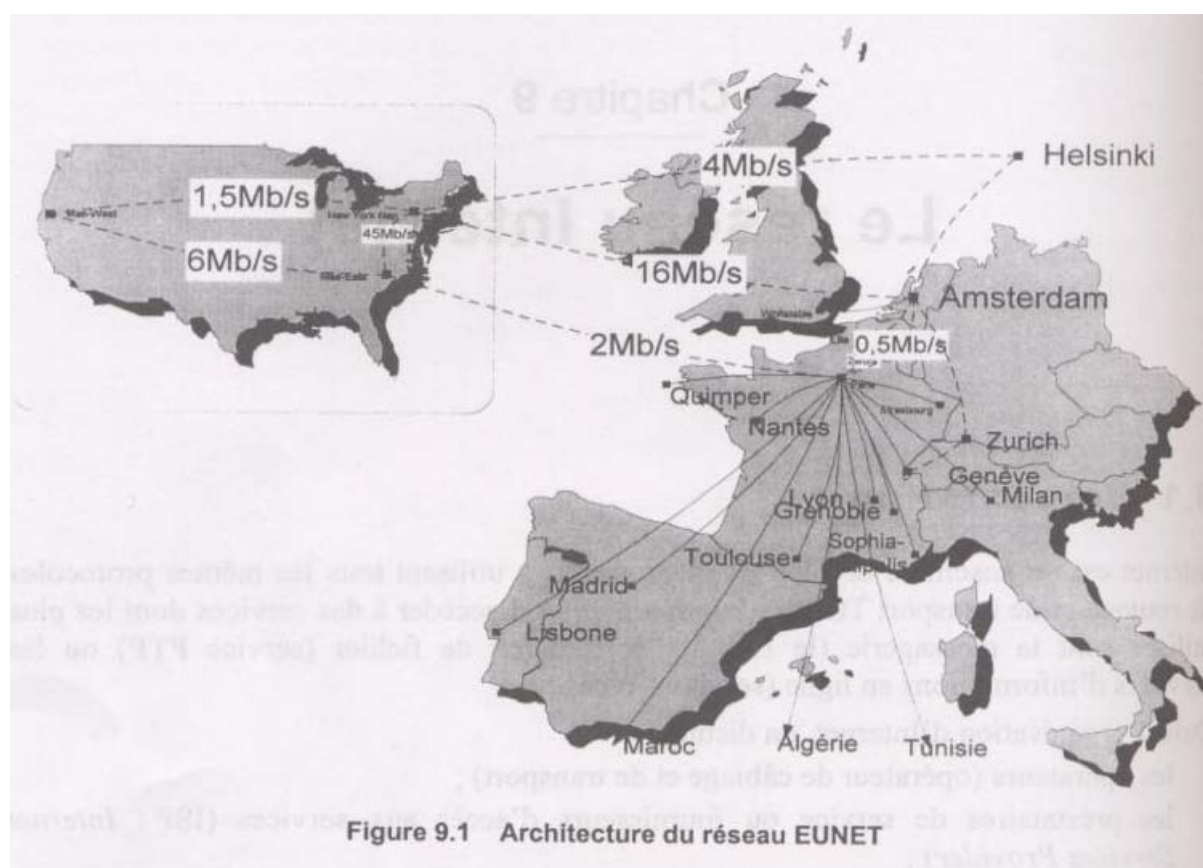
- les opérateurs (opérateur de câblage et de transport) ;
- les prestataires de service ou fournisseurs d'accès aux services (ISP : *Internet Services Provider*) ;
  - les services ;
- les outils.

## 9.2 LES OPERATEURS

Ils disposent de leur réseau et assurent le transport des informations d'un point à un autre. Ces réseaux sont organisés en réseaux régionaux, interconnectés par des réseaux nationaux. Les opérateurs fournissent les points de connexion sur leur réseau aux entreprises et aux prestataires de services qui ont obtenu des adresses IP d'un organisme agréé tel que l'InterNIC ou l'INRIA pour la France.

En Europe, les principaux opérateurs Internet sont France Télécom, Renater, Eunet, Uunet. Les réseaux de ces opérateurs sont interconnectés entre eux par des réseaux fédérateurs tels EBONE ou EUROANET, gérés par des GIX (*Groupment Internet eXchange*). La figure 9.1 montre l'architecture nationale du réseau de l'opérateur Eunet. Cette architecture appelle deux remarques :

- Tout le trafic des villes européennes situées au sud de Paris passe par la capitale. Paris est donc un noeud important du dispositif. Les équipements doivent être dimensionnés en conséquence et fiabilisés pour assurer le service de transport des données en tenant compte des pannes possibles.
- Lorsque la liaison entre la France et les Etats-Unis est saturée, le trafic intercontinental en transit par Paris doit être redirigé vers Amsterdam ou Helsinki.



## 9.3 LES PRESTATAIRES

Les prestataires, connectés à un réseau Internet, fournissent :

- des adresses IP aux particuliers ou PME/PMI qui ne peuvent obtenir d'adresse auprès de l'InterNIC (les adresses ne peuvent être attribuées que par blocs de 256 au minimum, voir chapitre 7) ;
- des services tels que la messagerie, la connexion aux serveurs Web ou l'hébergement de pages Web ;
- des services de connexion utilisant les réseaux d'opérateurs de télécommunication.

Certains prestataires s'intéressent plus au marché des entreprises, d'autres à celui des particuliers. Des prestataires sont également opérateurs Internet, comme Wanadoo ou Oléane. Ces prestataires maîtrisent le rapport nombre de clients / capacité du réseau.

### 9.3.1 La gestion des adresses

Le prestataire obtient une classe d'adresse auprès d'un organisme agréé. Il gère ces adresses vis à vis de ses clients à partir de 2 principes :

- un client veut être accessible directement par Internet : le prestataire lui attribuera l'une de ses adresses IP ;
- un client veut accéder à Internet le temps de la consultation d'un serveur : le prestataire « prête » l'une de ses adresses au client, le temps de la consultation. Il utilise pour cela un serveur dynamique d'adresses de type DHCP (voir chapitre 7, paragraphe 7.3.2).

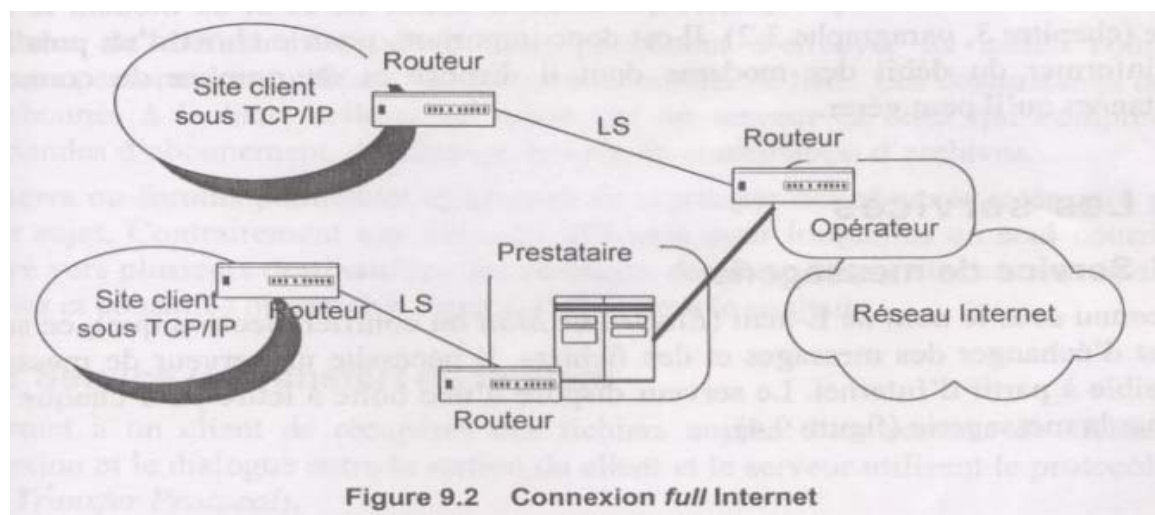
Le prestataire devra donc répartir les N adresses dont il dispose en N-1 adresses pour N-1 clients du 1<sup>er</sup> type, et N-NI adresses pour plus de N-NI clients du 2<sup>ème</sup> type dont N-NI maximum connectés simultanément.

### 9.3.2 Services de connexion

Les prestataires proposent généralement à leurs clients plusieurs types de connexion. Le choix du client dépendra du débit et du temps de connexion souhaités.

#### a) Connexion full Internet

C'est la solution des entreprises souhaitant pouvoir se connecter ou être accessible à tout moment sur Internet. Les grandes entreprises disposant d'un parc informatique important se connecteront directement à un opérateur Internet par une liaison spécialisée (figure 9.2).



Les PME/PMI se connecteront à un prestataire de service également par une liaison spécialisée. Le prestataire attribuera à l'entreprise une ou plusieurs adresses IP.

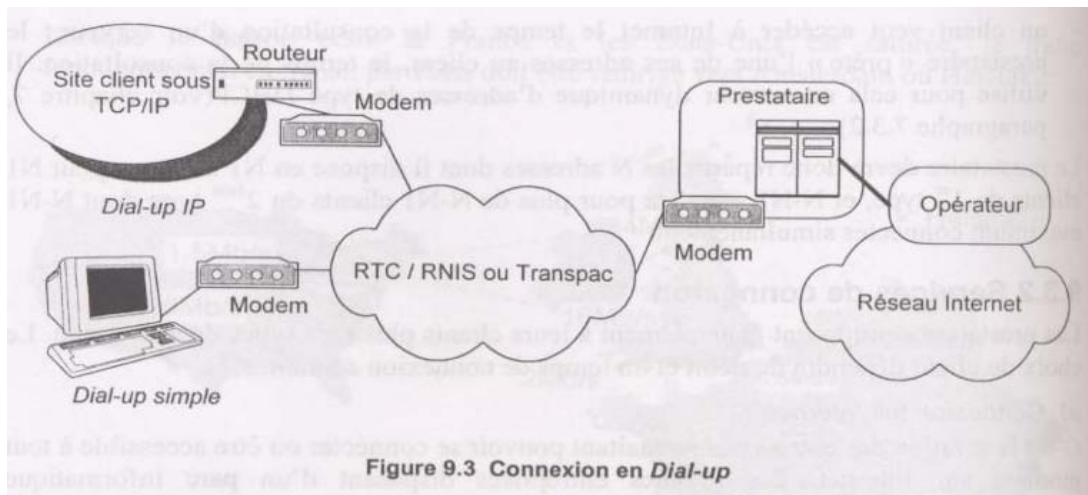
#### b) Connexion en Dial-up

C'est la solution des particuliers, des artisans ou des petites entreprises qui veulent se connecter temporairement à Internet (figure 9.3).

Les prestataires offrent un service de connexion en *Dial-up* utilisant un réseau d'opérateur de télécommunication. Le client dispose d'un ordinateur et d'un modem. Le prestataire dispose d'un service d'accès distant (voir chapitre 4, étude de cas).

Dans cette situation, le client n'est pas accessible directement à partir du réseau Internet, puisqu'il n'est « connecté » au prestataire qu'à sa demande. Il ne peut donc disposer de serveurs accessibles par Internet à tout moment. Toutefois, certains prestataires proposent un service d'appel des serveurs de leur client à tout moment, lors d'appels arrivant du réseau Internet.



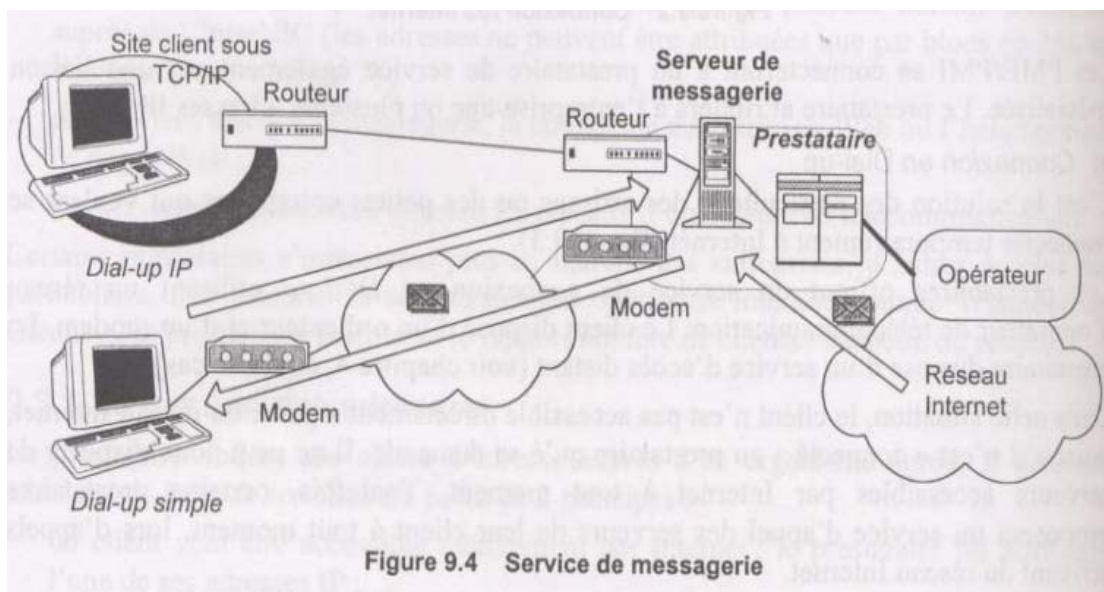


Il faut rappeler que dans les échanges entre modem, les protocoles utilisés par les 2 modems doivent être compatibles, et que le débit utilisé est celui du modem le moins rapide (chapitre 3, paragraphe 3.2). Il est donc important, pour le choix d'un prestataire, de s'informer du débit des modems dont il dispose et du nombre de connexions simultanées qu'il peut gérer.

## 9.4 LES SERVICES

### 9.4.1 Service de messagerie

Plus connu sous le nom de Email (*Electronic Mail* ou courrier électronique), ce service permet d'échanger des messages et des fichiers. Il nécessite un serveur de messagerie accessible à partir d'Internet. Le serveur dispose d'une boîte à lettre pour chaque client géré par la messagerie (figure 9.4).



Les messages sont stockés par le serveur de messagerie, en attendant que le client vienne consulter sa boîte aux lettres. Le message peut alors être lu. Le message peut rester stocké sur le serveur et lu à distance (fonctionnement en mode *online*) ou être déplacé vers la station du client et détruit sur le serveur (mode *offline*).

Pour la mise en forme des messages (jeux de caractères, encodage, codage des fichiers joints...) le protocole le plus utilisé est MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*). Il permet également la mise en forme du texte (mots soulignés, caractères en gras...).

Pour accéder à leur courrier, les stations utilisent le protocole POP3 (*Post Office Protocol*, voir paragraphe 9.5.3). Il est orienté vers un fonctionnement en mode *offline* et permet notamment de vérifier l'identité du client voulant lire le courrier d'une boîte à lettre. Lorsque les messages sont échangés entre 2 serveurs, ceux-ci utilisent le protocole SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*, voir paragraphe 9.5.2).

Quelques logiciels de gestion de serveurs de messagerie : *Exchange Server* de Microsoft, *Netscape Messaging Server* ou *Domino Mail Server* de Lotus.

Parmi les logiciels de messagerie sur les postes clients, citons *Netscape*, *Eudora*, *Exchange* ou *outlook* de Microsoft, *Notes* de Lotus, *groupwise* de Novell.

Les **listes de diffusions** (*mailing lists*) permettent d'envoyer un même courrier à plusieurs personnes en utilisant une adresse commune de liste. Les destinataires doivent être abonnés à la liste, celle-ci est gérée par un serveur de liste qui comprend les commandes d'abonnement, de désabonnement, de consultation d'archives...

Les **news** ou forums permettent également de regrouper des abonnés intéressés par un même sujet. Contrairement aux listes de diffusion pour lesquelles un seul courrier est envoyé vers plusieurs destinataires, les messages des forums sont stockés sur un serveur de news et consultés ou enrichis lorsque l'utilisateur le souhaite.

#### **9.4.2 Service de transfert de fichiers**

Il permet à un client de récupérer des fichiers auprès d'un serveur de fichiers. La connexion et le dialogue entre la station du client et le serveur utilisent le protocole FTP (*File Transfer Protocol*).

Après s'être connecté au serveur, celui-ci demande un nom de compte au client et un mot de passe. Le compte *user anonymous* permet au serveur de servir des clients ne disposant pas de compte. Dans ce cas, le mot de passe demandé est généralement l'adresse Email du demandeur.

Les logiciels sur la station du client disposent des commandes permettant de se déplacer dans l'arborescence du serveur, de définir le type des données transférées (binaire ou ASCII) et de télécharger un fichier.

La plupart des logiciels de navigation sur le Web intègrent les fonctions permettant la connexion aux serveurs de fichiers et le transfert des fichiers. Windows 98 dispose de l'exécutable sous DOS « ftp.exe ».

*FTP Serv-U*, *Winsock FTP Daemon* de Texas Imperial Software ou *WS FTP Server* de Ipswitch Inc sont quelques uns des logiciels serveurs FTP.

#### **9.4.3 Service Web**

Il permet d'accéder à des documents au format HTML (*Hyper Text Markup Language*, voir paragraphe 9.5.6) en utilisant pour la connexion et les échanges le protocole HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*, voir paragraphe 9.5.5).

Les documents sont accessibles par une URL (*Uniform Resource Locator*) comportant le nom du serveur http contenant le document, le chemin d'accès au document et le nom de celui-ci.

*Netscape Entreprise Server*, *Apache HTTP Server*, *Microsoft Internet Information Server* et *NetWare Web Server* de Novell sont quelques serveurs HTTP.

Pour accéder aux serveurs Web, les stations doivent être équipées de navigateurs. Parmi les plus courants, citons *Internet Explorer* de Microsoft, *Netscape Navigator* ou *Netsurfer* de NetManage.

### **9.5 LES PROTOCOLES**

#### **9.5.1 PPP**

Dans le cadre d'une connexion point à point par modem à l'Internet, il est nécessaire d'utiliser une procédure capable de transporter le protocole IP sur une liaison série. Le premier protocole conçu dans ce but est SLIP (*Serial Line Internet Protocol*) ; PPP (*Point to Point Protocol*) ajoute la détection d'erreurs et traite différents protocoles.

Après contrôle de la liaison (activation de la ligne, test et négociation des options), les paquets IP sont découpés et encapsulés dans des trames avec un format très proche de HDLC.

Le protocole PPTP (*Point to Point Tunneling Protocol*), basé sur l'encapsulation et le cryptage, permet de créer de manière sécurisé des réseaux privés virtuel (VLAN) sur l'Internet. Lorsque la connexion est établie au niveau liaison et réseau entre les deux systèmes distants, la connexion sécurisée est mise en œuvre en cryptant et en encapsulant les unités de donnée de niveaux supérieurs dans les paquets IP.

#### **9.5.1 SMTP**

SMTP (*Simple Mail Transport Protocol*) est le protocole courant de gestion du courrier électronique sur Internet. C'est un protocole point à point dans la mesure où il met en communication deux serveurs de messagerie : celui de la personne qui envoie un courrier et celui de la personne qui le reçoit.

Ces serveurs sont chargés du stockage dans des boîtes aux lettres privées (BAL) et du transport du courrier, ils doivent acheminer régulièrement les messages stockés vers les destinations mentionnées dans les champs adresse (figure 9.5).

Dans la mesure où SMTP est conçu au départ pour des systèmes reliés en permanence, un utilisateur connecté de façon intermittente (*Dial up*) via le RTC ou RNIS utilisera SMTP pour expédier son courrier sur son serveur de messagerie (courrier sortant), et un protocole tel POP3 pour lire les courriers qui l'attendent sur le serveur (courrier entrant).

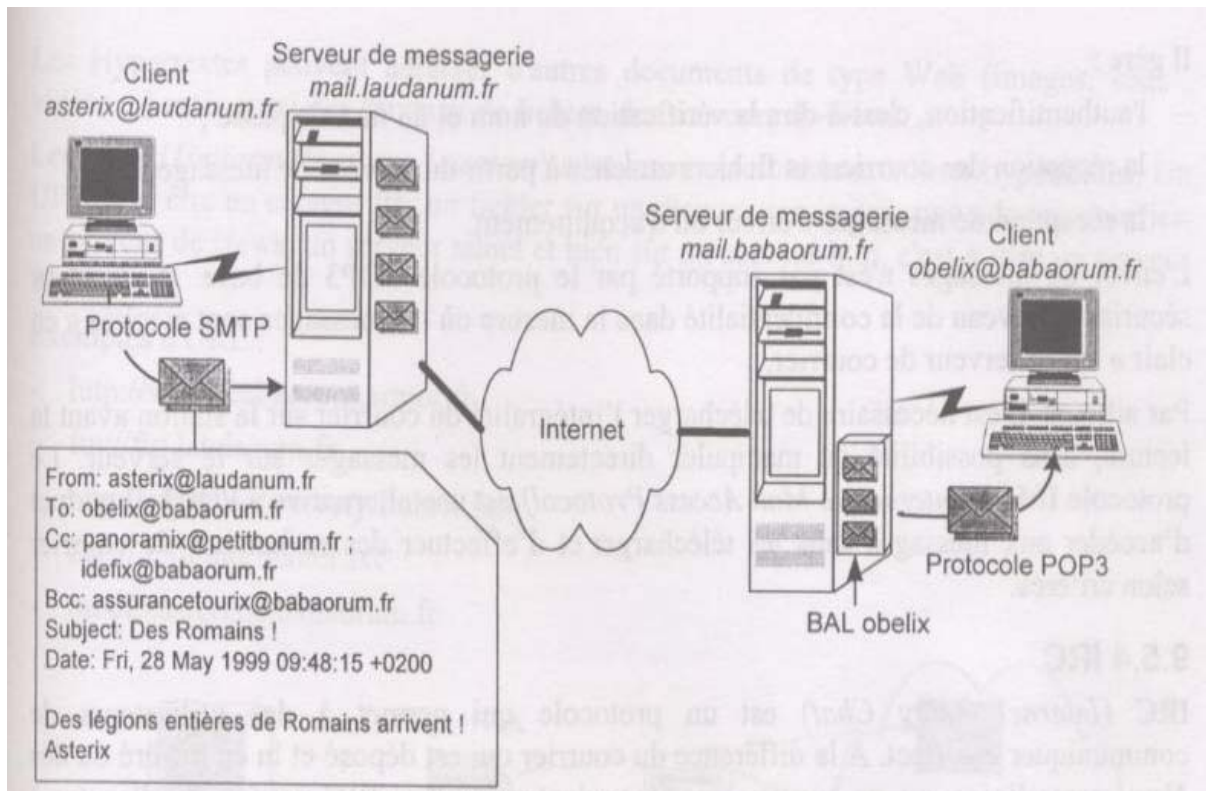


Figure 9.5 Architecture client/serveur SMTP et POP3

Le protocole SMTP spécifie :

- le format des adresses des utilisateurs suivant une notation Internet classique faisant figurer le nom de l'utilisateur suivi du nom de domaine (asterix@babaorum.fr par exemple) .
- les champs des courriers (*from* , *to*...);
- les possibilités d'envoi groupé :
  - Le champ CC pour *Carbone Copy* ou Copie Conforme permet d'envoyer le même message à plusieurs personnes, tous les noms des destinataires apparaîtront en clair dans le champ *to* ;
  - Le champ BCC (*Blinde Carbone Copy*) ou CCI (Copie Conforme Invisible) permet de masquer le nom des autres destinataires dans le champ *to* ;
- la gestion des heures ;
- le codage utilisé pour le message et les fichiers joints (« attachés ») :
  - texte pur codé en ASCII 7 ou 8 bits pour une prise en compte des caractères accentués ;
  - standard MIME (*Multipurpose Internet Mail Extension*) pour du texte formaté, des images ou du son.

### 9.5.2 POP3

Le protocole POP3 (Post Office Protocol version 3) a été conçu pour récupérer le courrier sur une machine distante pour un utilisateur non connecté en permanence à Internet.



Il gère :

- l'authentification, c'est-à-dire la vérification du nom et du mot de passe ;
- la réception des courriers et fichiers attachés à partir du serveur de messagerie ;
- la réception de messages d'erreur ou d'acquiescement.

L'envoi de messages n'est pas supporté par le protocole POP3 de base. Il n'est pas sécurisé au niveau de la confidentialité dans la mesure où les messages sont stockés « en clair » sur le serveur de courrier.

Par ailleurs, il est nécessaire de télécharger l'intégralité du courrier sur la station avant la lecture, sans possibilité de manipuler directement les messages sur le serveur. Le protocole **IMAP** (*Interactive Mail Access Protocol*) est une alternative à POP3. Il permet d'accéder aux messages sans les télécharger et d'effectuer des recherches de courrier selon critères.

#### 9.5.4 IRC

IRC (*Internet Relay Chat*) est un protocole qui permet à des utilisateurs de communiquer en direct. A la différence du courrier qui est déposé et lu en différé ou des *News* centralisées sur un serveur que l'on vient consulter, IRC permet de discuter à plusieurs dans des forums (canal) ou à deux (en privé) en temps réel.

On retrouve autant de canaux de communication que de thèmes, mais à la différence des *News*, chacun peut créer un canal qui sera détruit automatiquement dès qu'il sera vide.

Les utilisateurs connectés ont des surnoms (*Nickname*), les noms donnés aux canaux commencent par le caractère #. Certains utilisateurs, les opérateurs, disposent de droits supplémentaires sur un canal donné, leurs surnoms sont précédés du caractère @. Un opérateur peut, par exemple, « éjecter (*Kick*) » un utilisateur connecté au canal, ou bien changer ses attributs ou ceux du canal.

Pour pouvoir communiquer, il faut disposer d'un logiciel client IRC. Les commandes liées au protocole sont tapées en ligne (JOIN #canal pour rejoindre un canal par exemple) ou à l'aide de boutons et fenêtres. Les dernières versions permettent de transmettre la voix et éventuellement d'effectuer des vidéo-conférences lorsque la bande passante le permet.

#### 9.5.5 HTTP et URL

HTTP (*HyperText Transmision Protocol*) est un protocole de communication entre le navigateur du client et les serveurs Web, basé sur le principe des liens hypertextes. Ce sont des mots de couleur différente (bleu en général) ou des images qui servent de liens entre les documents. Il suffit de cliquer pour accéder à un autre document localisé sur le même serveur ou sur un autre, situé n'importe où sur le réseau Internet. Ces hypertextes rendent la lecture dynamique et permettent de « naviguer » sur une bibliothèque à l'échelle planétaire (figure 9.6).

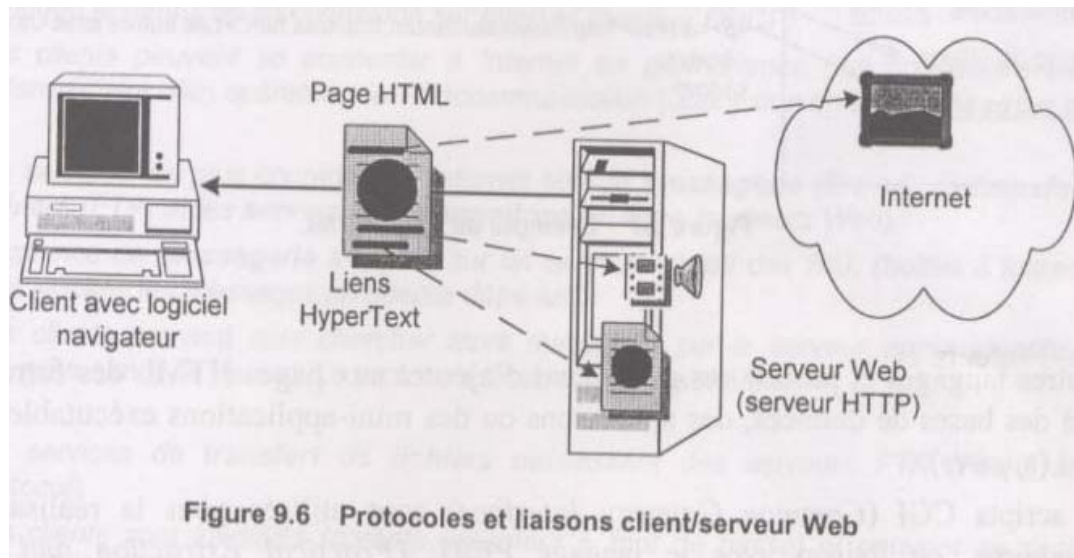
Un mécanisme de changement de couleur est utilisé pour savoir qu'un lien a déjà fait l'objet d'une visite (en général violet), le changement de couleur est réalisé non seulement sur la page de départ mais aussi sur toutes les pages qui font référence au même document.

Les Hypertextes peuvent adresser d'autres documents de type Web (images, sons, vidéos...) mais aussi des serveurs de fichier, des serveurs de News...

Les **URL** (*Uniform Resource Locators*) sont les noms donnés aux liens hypertextes. Un URL peut être un serveur ftp, un fichier sur un disque, une image, une adresse courrier, un serveur de News, un serveur telnet et bien sûr un serveur http, c'est-à-dire un serveur Web.

Exemples d'URL :

- <http://www.babaorum.armor.fr>
- <ftp://ftp.laudanum.fr>
- <http://serveur/directory/fichier.htm>
- <file:///c:/temp/fichier.txt>
- <mailto:asterix@babaorum.fr>



### 9.5.6 HTML

Les pages délivrées par les serveurs Web ou HTTP et consultées à partir du logiciel navigateur de l'ordinateur client connecté sont écrites suivant un langage lié au mode hypertexte : le langage HTML (*HyperText Markup Language*).

HTML n'est pas un langage de programmation, il s'agit plutôt d'un ensemble de règles qui servent à mettre un document en forme en utilisant une syntaxe basée sur des marqueurs ou balises (*tags*). Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de connaître ces règles pour écrire des pages HTML puisque la plupart des logiciels récents d'édition permettent une conception de type *wisiwig* (*what you see is what you get*) par glissé-déposé d'éléments (texte, images, sons...) et un suivi assisté des liens entre les éléments et les pages.

La figure 9.7 montre l'allure d'une page simple et le code source HTML correspondant. Les balises d'ouverture et de fermeture (<marqueur> et </marqueur>) encadrent les marqueurs qui correspondent aux différentes parties de la page, à des attributs ou à des commandes :

- <html> et </html> marquent le début et la fin du document ;

- <title> et </title> encadrent le titre ;
- l'attribut *align* permet de préciser un alignement au centre ;
- <p> est une marque de fin de paragraphe ;
- *a href* indique un lien HyperText local ou distant, la chaîne de caractère ou l'image précédent la balise de fin </a> est l'élément « cliquable ».

```

<html>
<head>
<title>Bienvenue</title>
<body background="file:///C:/Images/Fond.gif">
<p align="center"></p>
<p align="center">Bienvenue sur mon site !</p>
<p>Pour m'écrire : <a href="mailto:asterix@babaorum.fr">Asterix</a></p>
<p><a href="file:///C:/Pages/village.htm">La vie du village</a></p>
<p><a href="http://www.laudanum.fr/autres.htm">Les autres sites</a></p>
</body>
</html>

```

Figure 9.7 Exemple de page HTML

D'autres langages et procédures permettent d'ajouter aux pages HTML des formulaires liés à des bases de données, des animations ou des mini-applications exécutables sur le client (*applets*).

Les scripts CGI (*Common Gateway Interface*) sont utilisés pour la réalisation de formulaires, en liaison avec le langage PERL (*Practical Extraction and Report Language*) qui permet la mise en place de ces scripts.

Le langage JAVA permet de réaliser des *applets*, c'est un langage objet très proche du C++ qui impose le téléchargement de classes, c'est à dire de modules de programmes précompilés depuis le serveur. Une alternative, plus simple mais moins puissante, JavaScript provoque l'exécution de programmes non compilés mais interprétés et contenus dans le corps de la page HTML.

La technologie ActiveX proposée par Microsoft offre également la possibilité de réaliser des formulaires ou des animations. C'est un ensemble de protocoles qui permettent de manipuler des objets dans le navigateur (*ActiveX Controls*), de partager des documents (*ActiveX Documents*) issus d'autres applications (Word, Excel...) et de générer des scripts (*ActiveX Scripting*).

## Résumé

- *Internet est un réseau de réseaux et de services utilisant le protocole TCP/IP. Il fait intervenir des opérateurs de câblage, des opérateurs de transport, des prestataires de service.*

*Les réseaux d'opérateurs en France sont interconnectés entre eux par des réseaux fédérateurs tels EBONE et EUROPLANET.*

- *Les prestataires de services fournissent à leurs clients des connexions sur le réseau INTERNET et des adresses IP. L'attribution des adresses IP est gérée au niveau mondial par l'InterNIC.*

*Les prestataires gèrent pour leurs clients un serveur de messagerie, un serveur Web et des forums. Beaucoup proposent l'hébergement de site Web.*

*Le client d'un prestataire peut obtenir une adresse IP fixe ou une adresse qui lui est attribuée le temps de sa connexion sur Internet (serveur DHCP).*

*Les clients peuvent se connecter à Internet en permanence (full connexion) ou par l'intermédiaire d'un opérateur de Télécommunication (connexion en Dial-up)*

- *Les services les plus courants sur Internet sont la messagerie (E-mail), le transfert de fichiers (FTP) et les serveurs d'informations en ligne (serveurs Web).*

*Un service de messagerie s'appuie sur un serveur gérant des BAL (boîtes à lettres) où sont stockés les messages en attente d'être lus.*

*Les clients peuvent aller chercher leurs messages sur le serveur après identification (adresse + mot de passe). Le protocole le plus utilisé est POP3.*

- *Les services de transfert de fichiers nécessitent des serveurs FTP (File Transfer Protocol).*

*Les clients sont identifiés (compte utilisateur + mot de passe) et peuvent se déplacer dans l'arborescence du serveur et télécharger des fichiers. Un compte "anonymous" permet de servir des utilisateurs ne disposant pas de compte sur le serveur.*

- *Les serveurs Web donnent accès à des documents de type hypertexte (HTML), mais aussi image (GIF), son (WAVE) ou vidéo (MPEG). Ces documents sont localisés par des URL (Uniform Ressource Locator).*

*Les documents HTML sont stockés sur des serveurs HTTP (Hyper Text Transfer Protocol). Le client doit disposer d'un navigateur.*

- *Le protocole PPP (Point to Point Protocol) est utilisé pour le dialogue TCP/IP entre un client et un prestataire à travers un réseau d'opérateur de Télécommunication, par encapsulation des paquets IP.*

*Le protocole SMTP (Simple Mail Transport Protocol) est utilisé pour le transfert de messages entre serveurs de messagerie ;*

*Le protocole MIME (Multipurpose Internet Mail Extension) permet la mise en forme des messages et l'attachement de fichiers multimédia.*

*Le protocole IRC (Internet Relay Chat) permet le dialogue en direct entre 2 ou plusieurs personnes. Pour chaque dialogue, un canal de communication est ouvert et géré par un opérateur.*



## QCM

(réponses à la fin du livre)

**Q1.** Les propriétaires des réseaux Internet sont :

- a) *Les prestataires de services*
- b) *Les opérateurs de câblage*
- c) *Les opérateurs de transport*

**Q2.** Le protocole utilisé sur les réseaux Internet est :

- a) *NetBEUI*
- b) *IPX/SPX*
- c) *TCP/IP*

**Q3.** Le protocole d'affectation dynamique des adresses IP s'appelle :

- a) *DHCP*
- b) *DNS*
- c) *Proxy*

**Q4.** La connexion d'un client à un prestataire à travers un réseau de Télécommunication s'appelle :

- a) *Full Internet*
- b) *Dial-Up*

**Q5.** Le protocole POP3 règle l'échange des messages entre :

- a) *Serveurs de messagerie*
- b) *Station et serveur de messagerie*

**Q6.** Le protocole IRC permet :

- a) *L'envoi de messages*
- b) *Les discussions en direct*

**Q7.** Le protocole HTML est :

- a) *Un langage de programmation d'animation de documents*
- b) *Un ensemble de règles de structuration d'un document hypertexte*
- c) *Un ensemble de règles de réalisation de formulaires*

## Étude de cas : connexion à un prestataire de services sous Windows 95/98

### Équipement type d'un prestataire côté clients :

- des modems et des adaptateurs RNIS pour le raccordement aux réseaux d'opérateurs de télécommunication ;
- un serveur d'accès distant pour gérer les connexions avec les clients en *Dial-up* (voir chapitre 4, étude de cas). Des équipements tels que NETServer de USRobotics ou SuperStack II AccessBuilder de 3Com permettent de gérer de 5 à 50 connexions ;
- un routeur protégé par un pare-feu (*firewall*) pour la sécurité des équipements du prestataire pour les clients sous TCP/IP en *full Internet*.

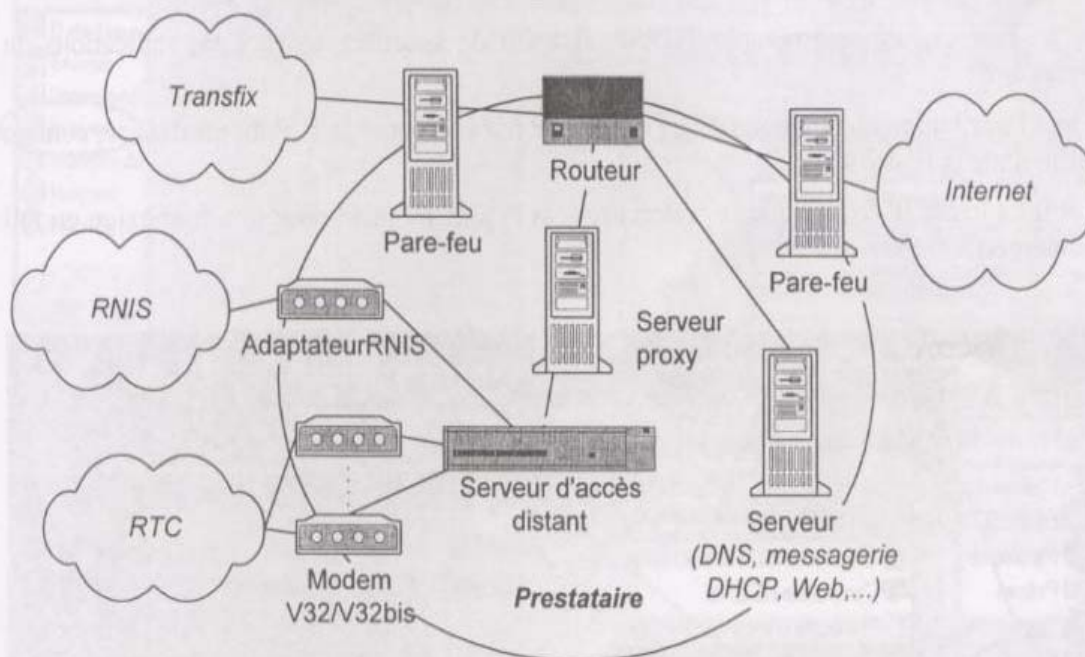


Figure 9.8 Équipement type d'un prestataire de services Internet

### Équipement type d'un prestataire côté Internet :

- un routeur pour filtrer les paquets reçus et les diriger vers les équipements destinataires ;
- un pare-feu pour une protection des équipements contre les accès non autorisés (piratage).

### Les services :

- un serveur DNS pour la gestion des connexions aux sites clients gérés par le prestataire ;
- un serveur DHCP pour attribuer dynamiquement les adresses IP aux clients en *Dial-up* ;
- un serveur de messagerie pour stocker les messages E-mail des clients, en attente de lecture et de transfert ;
- un serveur Web pour fournir aux clients des informations en ligne sur des thèmes choisis (actualité, bourse, météo, loisirs, spectacles, tourisme...);

- un serveur « proxy » qui copie les pages Web consultées par les clients sur Internet. Lors d'une nouvelle consultation, le client trouve sur le serveur « proxy » le document, sans avoir à se connecter à travers Internet au site Web.

### Configuration de Windows 95 pour une connexion à un prestataire par LS

La configuration se fait en 3 étapes :

- configuration du protocole TCP-IP ;
- configuration de la connexion Internet ;
- configuration de la messagerie.

Pour Windows 98, un assistant de connexion permet de configurer l'ordinateur en guidant l'utilisateur à travers ces 3 étapes et en créant un « profil de connexion ».

#### Configuration du protocole TCP-IP

Après avoir ajouté le protocole TCP/IP, il suffit de spécifier, suivant les indications du prestataire :

- soit l'attribution automatique d'une adresse IP par le serveur DHCP du prestataire, comme l'indique la figure 9.9 ;
- soit l'adresse IP fournie par le prestataire (cas le plus fréquent pour une connexion en full Internet).

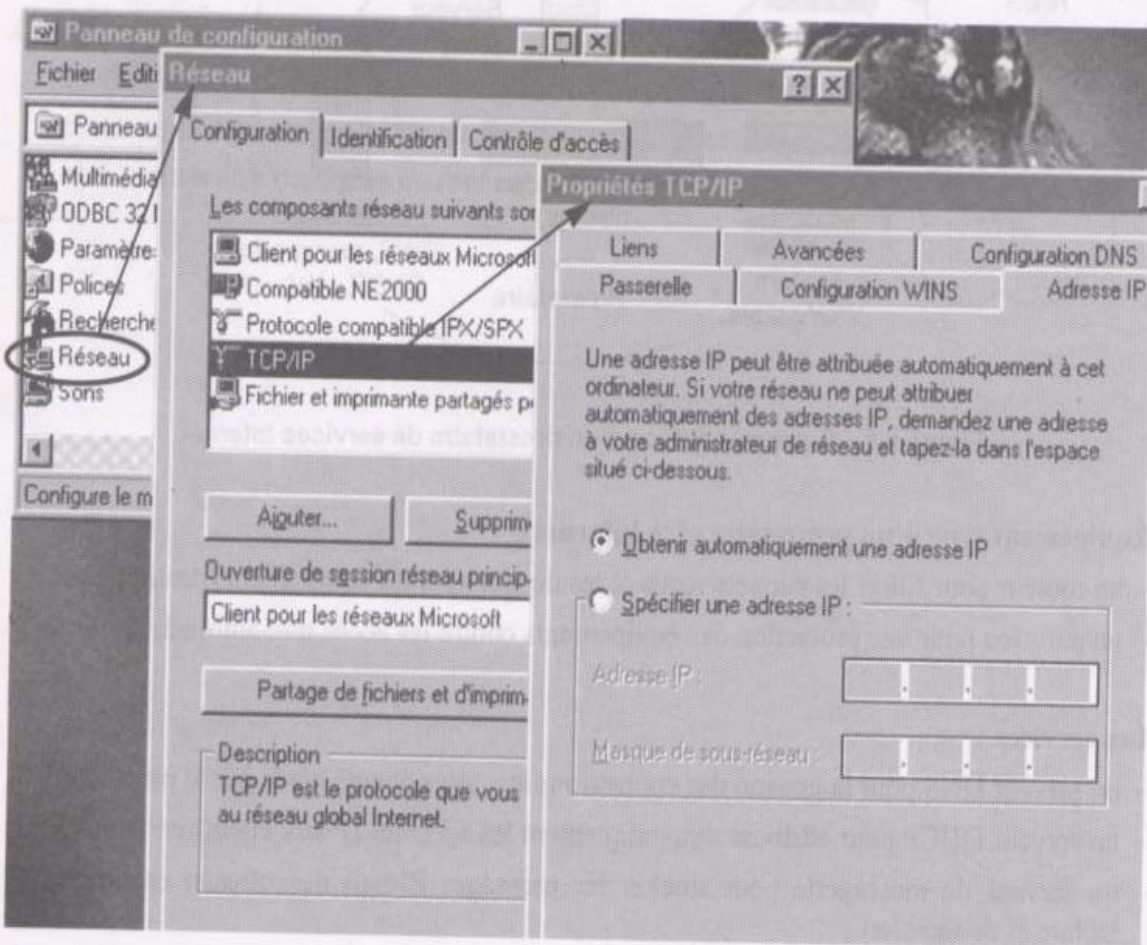


Figure 9.9 Configuration du protocole TCP/IP



## Configuration de la connexion Internet

L'onglet « connexion » de la fenêtre « propriétés d'Internet » permet d'indiquer les noms des serveurs HTTP, FTP et autres du prestataire de services, en se reportant aux indications fournies par ce dernier (figure 9.10).

Dans le cas où la connexion au prestataire se fait par le réseau téléphonique, il faut cocher dans la partie « Numérotation », la case « se connecter à Internet lorsque c'est nécessaire » et ajouter dans « connexion Accès réseau à distance » la connexion « Internet » (se reporter au chapitre 4, étude de cas).

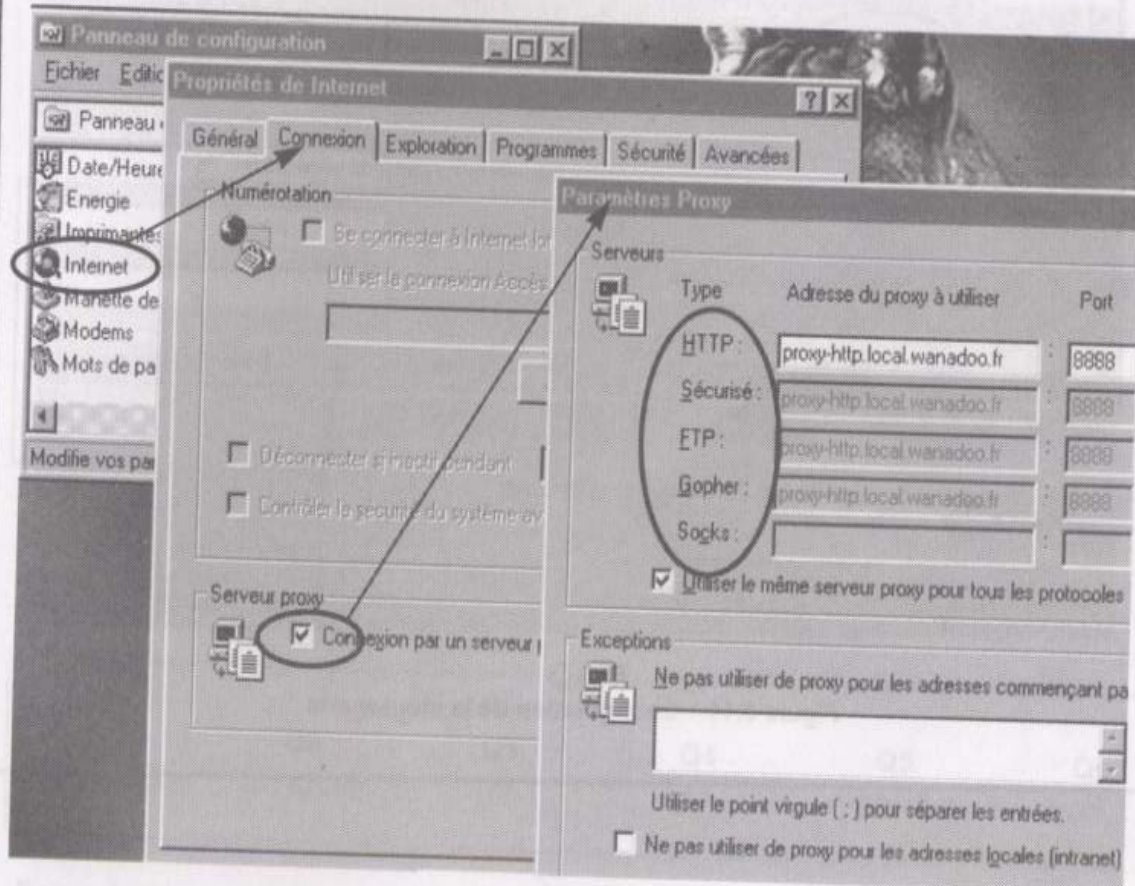


Figure 9.10 Configuration de la connexion Internet au prestataire

## Configuration de la messagerie

Après avoir ouvert la fenêtre courrier, il faut :

- ajouter le service « Messagerie Internet » ;
- dans la fenêtre des propriétés de ce service, indiquer l'adresse E-mail et le nom du serveur de messagerie POP fournis par le prestataire ;
- il est conseillé de cocher le format de message « MIME » qui présente le meilleur gage de compatibilité avec les outils de messagerie des correspondants.

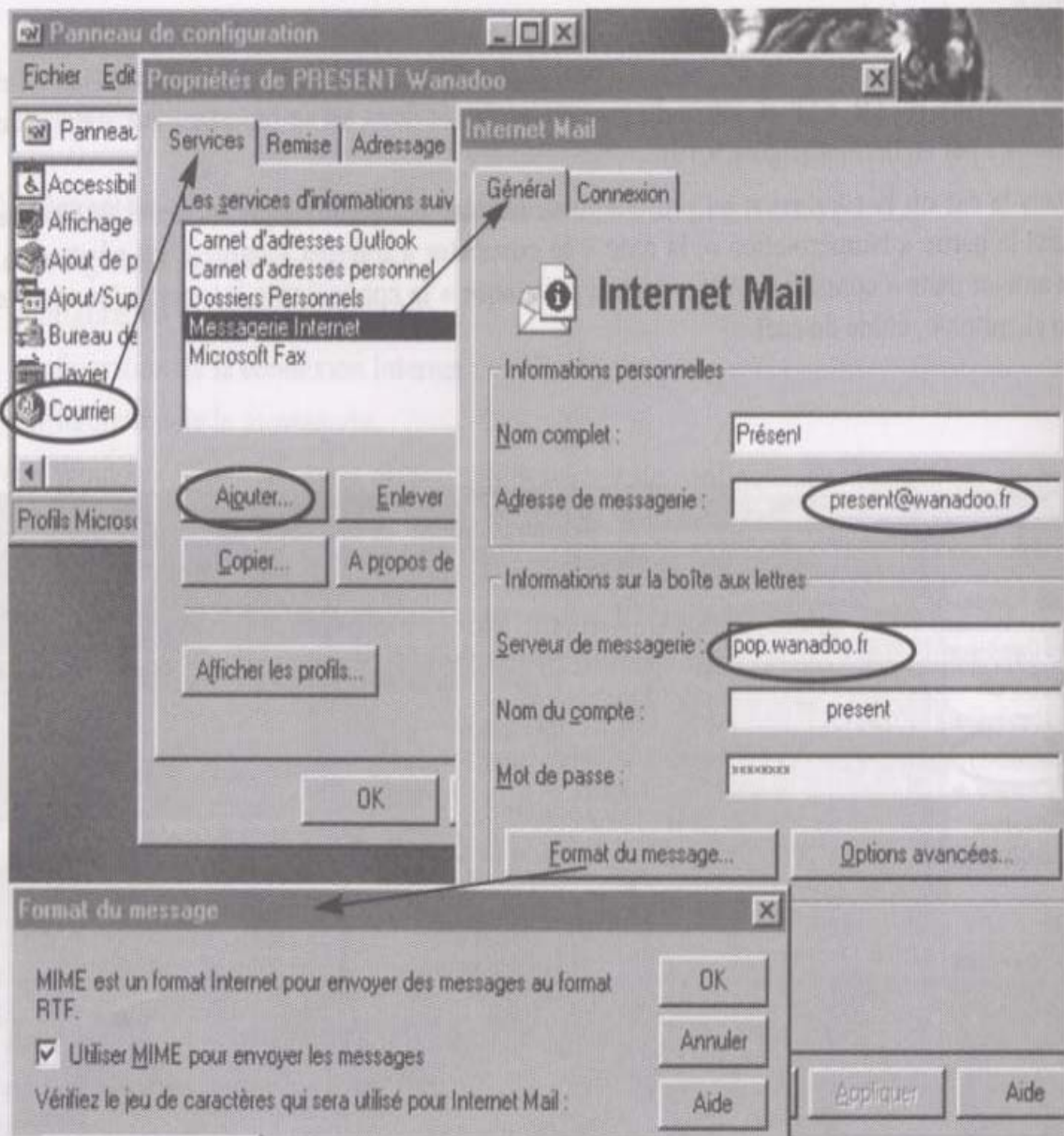


Figure 9.11 Configuration de la messagerie

## Chapitre 9

### QCM

Q1

b)

Q2

c)

Q3

a)

Q4

b)

Q5

b)

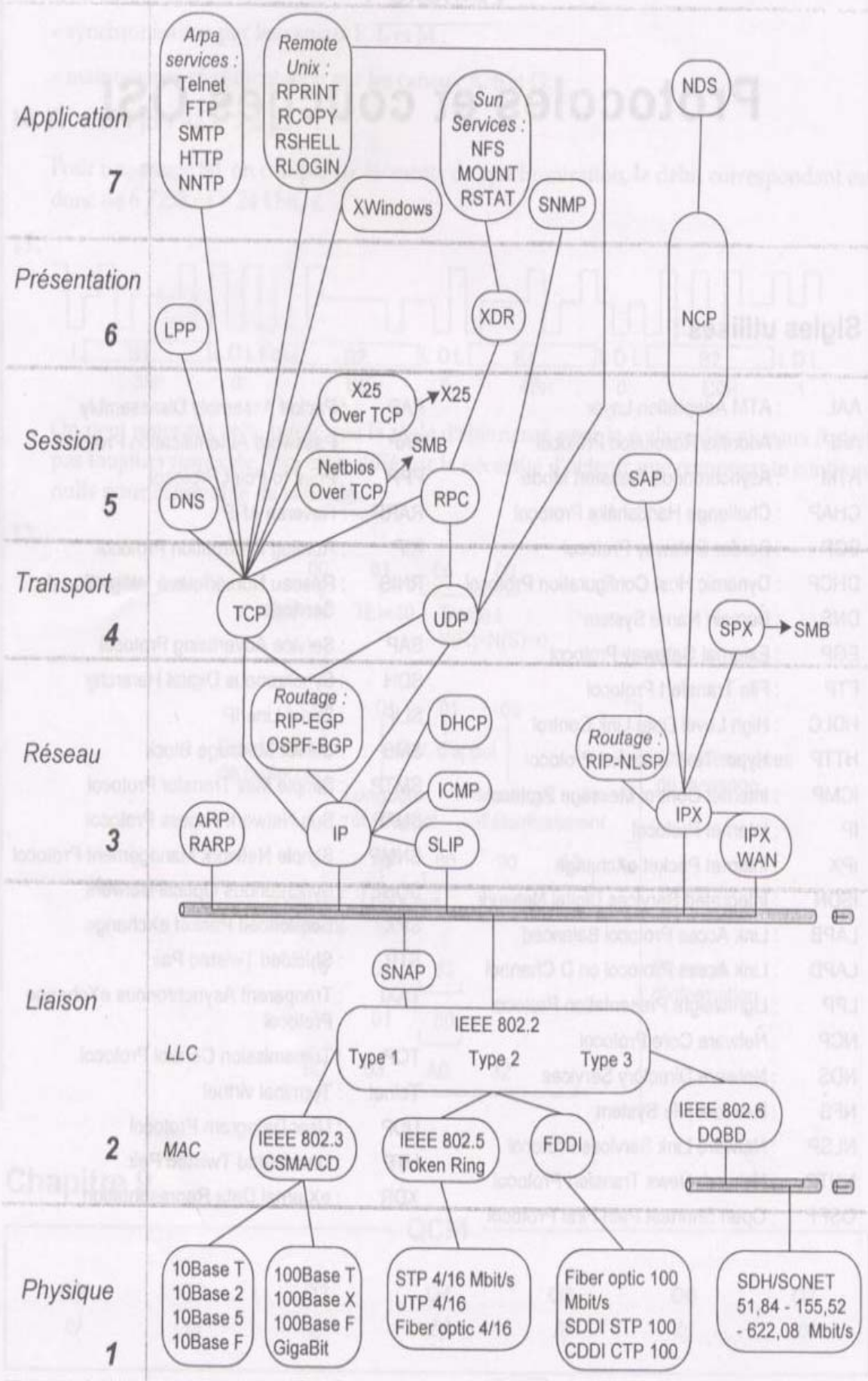
Q6

b)

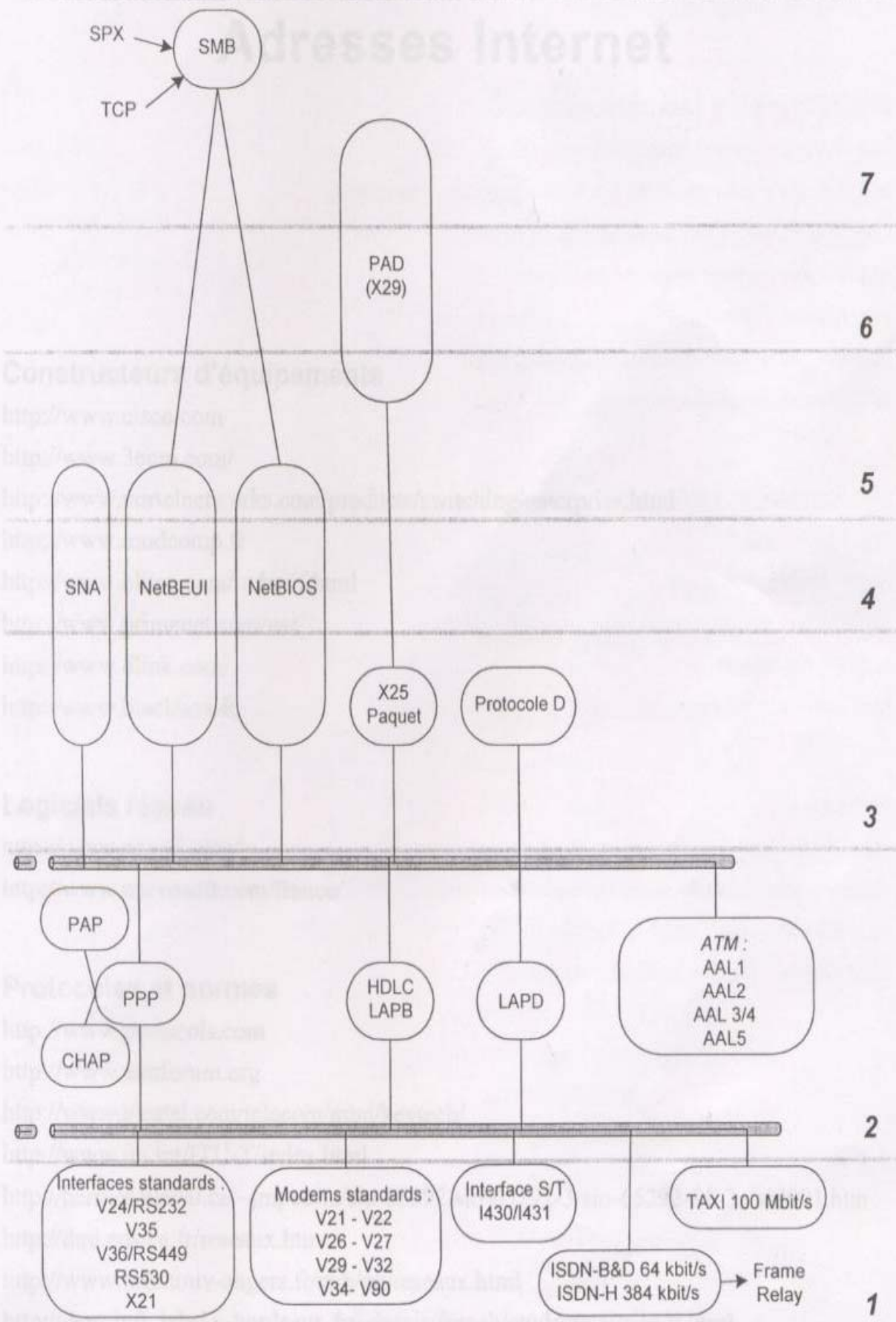
Q7

b)









7

6

5

4

3

2

1