

I.U.T. BORDEAUX 1
DEPARTEMENT INFORMATIQUE

TELEINFORMATIQUE

LIVRET II

- Septembre 2000 -

HISTORIQUE

Version	Date	Auteurs	Commentaires
2.0	26/09/2000	PF	Nouvelle répartition des chapitres

SOMMAIRE

<u>3.</u>	<u>LES PROCEDURES OU PROTOCOLES LIAISON</u>	3
3.1	INTRODUCTION	3
3.2	CARACTERISTIQUES DES PROCEDURES	3
3.3	LES FAMILLES DE PROCEDURE	5
3.4	HDLC : UNE PROCEDURE SYNCHRONNE BASEE SUR L'ELEMENT BINAIRE	5
<u>4.</u>	<u>LES RESEAUX LOCAUX</u>	14
4.1	QU'EST-CE QU'UN RESEAU LOCAL ?	14
4.2	LES DIFFERENTS TYPES DE SUPPORT PHYSIQUE	14
4.3	TOPOLOGIE ET CABLAGE	14
4.4	LES METHODES D'ACCES OU LA COUCHE MAC	15
4.5	LE NIVEAU LLC : LA NORME 802.2	19
4.6	ETHERNET : UN STANDARD RESPECTANT LA NORME 802.3	19
4.7	INTERCONNEXION DE RESEAUX LOCAUX	24
4.8	DES NOUVEAUTES	24
<u>5.</u>	<u>LES RESEAUX</u>	25
5.1	DEFINITION D'UN RESEAU	25
5.2	LES DIFFERENTS TYPES DE RESEAUX	25
5.3	LA NORME X25	28
5.4	TRANSPAC	34

3. Les procédures ou protocoles liaison

3.1 Introduction

Une procédure, appelé aussi protocole de liaison, est un ensemble de fonctions matérielles et logicielles qui permettent l'échanges de données entre 2 ou plusieurs ETTD connectés à un même circuit de données. Elle doit gérer la liaison, assurer le transfert de données et, dans la mesure de ses possibilités, réaliser une transmission 'fiable' sur un circuit de données 'non parfait'.

Les problèmes à résoudre sont de plusieurs ordres :

- comment gérer le droit à la parole ?
- qui prend l'initiative de l'échange ?
- comment établir ou rompre une communication entre 2 ETTD ?
- à quel ETTD s'adresse un message ?
- quel code utilise-t-on pour cet échange ?
- comment peut-on s'apercevoir qu'une erreur s'est produite lors d'un échange ?
- si l'on s'aperçoit d'une erreur, comment peut on faire pour la corriger ?
- comment réguler le flux des échanges si une station ne peut traiter les informations aussi vite qu'elle les reçoit ?
- comment détecter et corriger une perte d'information ou une erreur dans l'ordre des messages ?

Afin de résoudre certains des problèmes cités ci-dessus, la plupart des protocoles liaison ont adopté les choix suivants :

- organisation en bloc (appelé trame) des informations à transmettre (bloc de N caractères, bloc de N bits). Il faut identifier le début et la fin de chaque bloc et être capable de faire la distinction entre les bloc de données et les blocs de commande,
- les ETTD sont identifiés par des adresses,
- le débit de données de l'ETTD qui émet doit être asservi par les possibilités de la station qui reçoit (contrôle de flux).

L'écriture des programmes réalisant les protocoles de communication sort du cadre de ce cours, mais à titre d'exemple, nous donnerons quelques algorithmes très simples.

3.2 Caractéristiques des procédures

3.2.1 Procédure et type de liaison

Une procédure dépend étroitement du circuit de données (niveau physique) qu'elle utilise et en particulier :

- du type de liaison (point-à-point ou multi-point),
- du mode d'exploitation (half-duplex ou full-duplex),
- du mode de synchronisation (synchrone ou asynchrone). Dans un cas on s'échange des messages, dans l'autre des caractères.

3.2.2 Procédure et code

Une procédure peut également dépendre du code utilisé. Certains caractères du code sont alors réservés à la procédure pour délimiter les messages ou pour déterminer leur fonction. Leur usage est à priori interdit dans le corps des messages.

Toutefois, certaines procédures sont conçues pour être indépendantes du code utilisé ; elles sont dites transparentes et permettent de véhiculer n'importe quelle séquence de caractères ou de bits.

3.2.3 Gestion du droit à la parole

Un échange s'effectue depuis une source d'information vers un puits d'information ; la source émet des informations et le puits émet éventuellement des accusés de réception, positifs ou négatifs selon la réussite de la transmission. Une station comporte en général une source et un puits.

La station qui supervise les échanges est appelée primaire. La ou les autres stations sont appelées secondaires. Dans le cas d'une liaison multi-point, il y a une station primaire et une seule. Dans le cas d'une liaison point à point, on peut avoir une station primaire et une station secondaire, ou bien chaque station peut être à la fois primaire et secondaire.

Envisageons le cas d'une station primaire désirant envoyer une information à une station secondaire. Elle envoie à celle-ci un message d'invitation à recevoir, qui peut être le message lui-même et reçoit en retour un accusé de réception. Ce message d'invitation à recevoir est également appelé "*polling*".

Si maintenant cette station primaire souhaite s'enquérir de l'intention d'une station secondaire d'envoyer un message, elle lui adresse un message d'invitation à émettre ou "*selecting*".

Polling et *selecting* sont souvent alternés, lorsque le primaire n'a rien à transmettre, il ira scruter à tour de rôle les stations secondaires. On aura perpétuellement un échange sur la ligne, même en l'absence d'informations significatives à transmettre.

On peut privilégier certaines stations au moyen d'une liste de *polling* ; une station inactive depuis un certain temps pourra passer en "*polling lent*".

En point à point, lorsque les deux stations comportent une fonction primaire, il peut arriver qu'elles prennent l'initiative d'un échange de façon à-peu-près simultanée. Si la procédure ou la gestion de la ligne ne permet pas de gérer cette situation, il y a conflit ou "*collision*". On résout ce conflit en demandant à chaque station d'annuler sa demande, et de la reformuler après un certain délai tiré au sort. Ce processus est dit "*de contention*".

3.2.4 Détection et correction des erreurs de transmission

La détection des erreurs de transmission obéit toujours au même principe : ajouter au message par une méthode de calcul appropriée des informations redondantes, que l'on recalcule à l'autre extrémité afin de détecter des erreurs de transmission. Ces informations peuvent être rajoutées au niveau du caractère, c'est le cas de la parité transversale, ou bien au niveau du message, c'est le cas de la parité longitudinale ou du CRC. Pour corriger une erreur de transmission, il suffit de retransmettre le message suite à un accusé de réception négatif (les codes auto-correcteurs sont rarement utilisés) .

3.2.5 Contrôle de flux et de séquence

On a vu que tout message transmis nécessitait un acquittement afin de pallier d'éventuelles erreurs de transmission. On rencontre deux modes de fonctionnement :

- le mode "envoyer et attendre". Dans ce cas, la station qui a émis un message doit rester inactive tant qu'elle n'a pas reçu d'acquiescement,
- le mode anticipation. Dans ce cas une station peut envoyer plusieurs messages sans attendre d'acquiescement. Toutefois, ce nombre de messages doit être limité car ce mode nécessite des ressources de stockage plus importantes.

On convient donc:

- de numéroté ces messages modulo N ,
- de pouvoir acquiescer globalement plusieurs messages,
- de limiter au moins à N le nombre de messages transmis avant acquiescement,
- de pouvoir suspendre momentanément l'émission de messages en cas d'engorgement (c'est ce qu'on appelle le contrôle de flux),
- de s'assurer qu'il n'y a pas d'erreur dans la numérotation et que l'on n'a pas perdu de message (c'est le contrôle de séquence).

3.2.6 Procédure et synchronisation

Le coupleur doit être capable de reconnaître quel est le moment où il doit détecter une transition d'état. On parle de synchronisation entre un signal et une horloge ou synchro-bit.

En mode asynchrone, cette synchronisation est établie à chaque caractère transmis, et n'est maintenue que le temps de transmission du caractère. Cette procédure, très rudimentaire, est appelée "procédure start-stop".

En mode synchrone, on échange des messages que l'on appelle aussi "trames". La synchro-bit est maintenue tout le temps nécessaire à la transmission d'une trame, et même parfois tout au long de la session.

De plus, il faut être capable de déterminer la frontière d'un caractère, ou la partie utile d'un message, c'est la synchro-caractère. On obtient cette synchronisation soit à l'aide d'un caractère spécial (SYN), soit à partir d'une séquence de bits particulière appelée fanion.

3.3 Les familles de procédure

Les procédures sont soit synchrones, soit asynchrones. Les procédures asynchrones sont en fait des procédures rudimentaires qui ne seront pas étudiées. Les procédures synchrones, qui fournissent de meilleurs performances, se divisent en deux grandes catégories :

- protocoles synchrones "basés sur le caractère" où les trames sont considérées comme des suites de caractères (BSC, VIP),
- protocoles synchrones "basés sur l'élément binaire" où les trames sont des groupements de chiffres binaires (HDLC normalisé par ISO, SDLC défini par IBM, ...).

Ces protocoles synchrones sont ainsi appelés parce que leur utilisation repose essentiellement sur le mode de transmission synchrone. Rappelons que dans un tel mode, l'unité de transmission est un groupe d'informations appelés trames (pour un ensemble de bits) ou bloc (pour un ensemble de caractères).

3.4 HDLC : une procédure synchrone basée sur l'élément binaire

Les procédures synchrones sont dites basées sur l'élément binaire lorsque les trames sont considérées comme des groupements de chiffres binaires non organisés en caractère, ce qui les rend indépendantes d'un codage ou d'un alphabet particulier. Elles sont pratiquement similaires et sont issues du protocole liaison utilisé dans SNA appelé SDLC (Synchronous Data Link Control). Un certain nombre de protocoles ont été normalisés par l'ISO et le CCITT, notamment HDLC (High level Data Link Control ISO_3309, ISO_4335, CCITT X25 niveau 2).

3.4.1 Type de liaison

HDLC fonctionne en half duplex sur des liaisons multi-point : une station sera primaire et les autres seront des station secondaires (Figure 3.1).

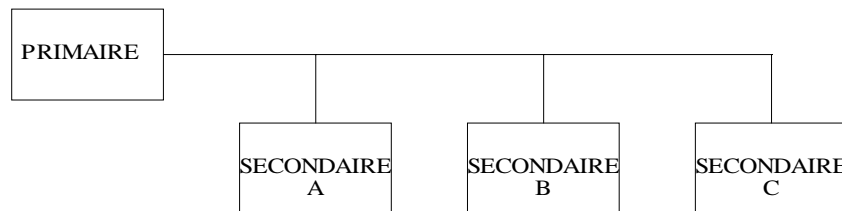


Figure 3.1 Liaison multipoint.

Sur une liaison point à point, la transmission sera half-duplex ou full-duplex. Dans ce cas, chaque station comprend une primaire et une secondaire ; la primaire gère la liaison en émettant des *commandes* qui sont reçues par les secondaires qui envoient des *réponses* (Figure 3.2).

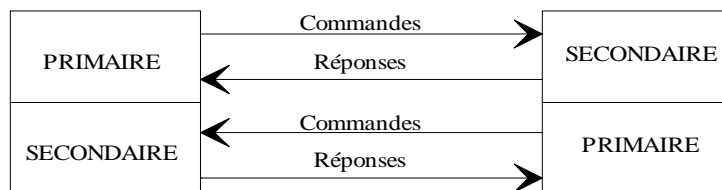


Figure 3.2 Liaison point à point.

3.4.2 Structure des trames HDLC

Toutes les trames ont la même structure (Figure 3.3).

Fanion 01111110	Adresse (8 bits)	Commande (8 bits)	Données (n bits)	FCS (16 bits)	Fanion 01111110
--------------------	---------------------	----------------------	---------------------	------------------	--------------------

Figure 3.3 Structure des trames HDLC.

Fanion:

Pour analyser une trame, le récepteur doit, avant tout, reconnaître le début et la fin de la trame, d'où l'utilisation d'une séquence de bits particulière, appelée fanion (séquence 01111110), qui servira de délimiteur de trame et qui ne devra pas apparaître à l'intérieur de la trame. Cela permet la synchronisation-trame. Pour avoir la transparence, on devra insérer automatiquement, lors de l'émission d'une information contenant la séquence 01111110, un 0 après cinq bits consécutifs égaux à 1 et bien sûr, faire l'opération inverse à la réception.

Un même fanion peut fermer une trame et ouvrir la suivante. On a une transmission ininterrompue de fanions entre 2 trames pour maintenir la synchronisation.

Adresse:

C'est l'adresse d'un couple primaire/secondaire opposés. Dans une trame de commande, c'est l'adresse de la station qui reçoit, et dans une trame de réponse, c'est l'adresse de la station qui répond. Dans le cas d'une liaison point-à-point, cette zone est sous-utilisée (TRANSPAC utilise les 2 adresses A = 00000011_h et B = 00000001_h, le primaire du réseau ayant toujours l'adresse A).

Commande:

Ce champ, codé sur 8 bits (Figure 3.4), précise le type de trame transmise, ainsi que ses fonctions (numéro de la trame émise, numéro de la trame attendue...).

Bit	1	2	3	4	5	6	7	8
TRAME-I	N(R)			P	N(S)			
TRAME-S RR	N(R)			P/F	00			
TRAME-S REJ	N(R)			P/F	10			
TRAME-S RNR	N(R)			P/F	01			
TRAME-U SARM	000			P		1		1
TRAME-U DISC	010			P		0		1
TRAME-U UA	011			F		0		1
TRAME-U SABM	001			P		1		1
TRAME-U DM	000			F		1		1

Figure 3.4 Structure du champ commande

TRAME-I (Information) : sert pour le transfert de données.

N(S) : compteur d'émission,

N(R) : compteur de réception,

P : bit Polling,

TRAME-S (Supervision) : sert à acquitter positivement ou négativement l'information.

RR (Receive Ready) : prêt à recevoir.

RNR (Receive Not Ready) : non prêt à recevoir.

REJ (Reject) : rejet.

TRAME U (Unnumbered) : sert pour l'initialisation, la connexion et la déconnexion.

SARM (Set Asynchronous Response Mode) : connexion en mode réponse asynchrone LAP.

DISC : déconnexion.

UA : accusé de réception pour une commande de connexion/déconnexion.

SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) : Connexion en mode asynchrone équilibré (ou LAP-B).

DM : Indicateur de mode déconnecté.
 SNRM (Set Normal Response Mode) : connexion en mode normal (en fait exceptionnel)
 CMDR : Rejet de commande (+ diagnostic).
 FRMR : Rejet de Trame (+ diagnostic).

Données: séquence de bits qui correspond à l'information transférée.

FCS : Frame Check Sequence

Des codes polynomiaux de longueur 260, 500, 980 ou 3860 bits sont utilisés pour la détection des erreurs avec le polynôme générateur $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ (Avis 41 du CCITT).

Exercice : analyser la trace suivante.

01 22 10 01 00 00 01 E1:47.....	01 44 10 01 22 40 6C:47 01 46
10 01 24	
.....01 41 12:47 03 42 10 01 20 40	
12:47.....	
E0 00 00 00 14 40 04 08 34 00 00 00 01 03	
3B:47.....	
.....03 84 10 01 62 D3 00 14 00 64 40 04 08 30	
00 1F:47	

3.4.3 Fonctionnement

HDLC permet d'anticiper l'acquittement des informations émises, en numérotant les trames modulo 8 (de 0 à 7).

Il existe aussi la possibilité de numéroté les trames modulo 128 dans le cas de temps de propagation long (liaison par satellite). Le format du champ de contrôle est alors différent.

On peut également restreindre le nombre de trames émises avant acquittement (ou taille de fenêtre). On représente souvent celle-ci par un disque où la fenêtre tourne d'un cran ou de plusieurs à chaque acquittement (Figure 3.5).

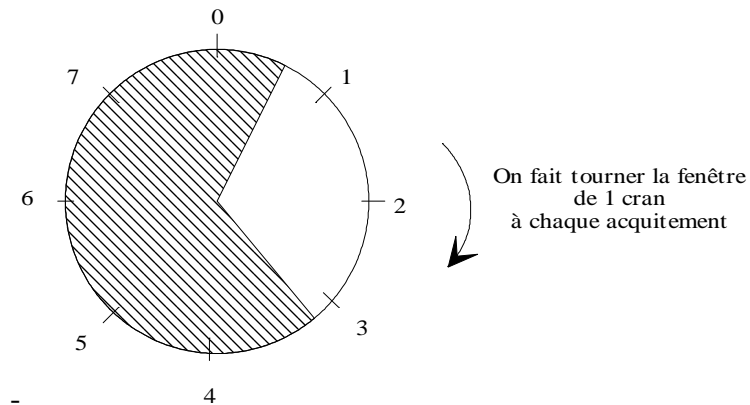


Figure 3.5 Gestion de la fenêtre.

Le champ N(S) d'une trame d'information indique le numéro de trame émise et le champ N(R) d'une trame d'information ou de supervision (RR, RNR, REJ) indique le numéro de la trame que l'on est prêt à recevoir, c'est à dire le numéro de la dernière trame acquittée + 1. Cette opération acquitte donc toutes les trames reçues de numéro inférieur.

Exemple:

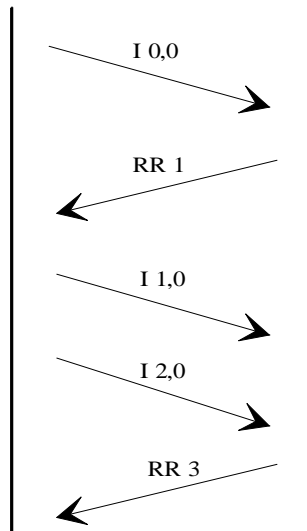


Figure 3.6 Acquittement par un RR.

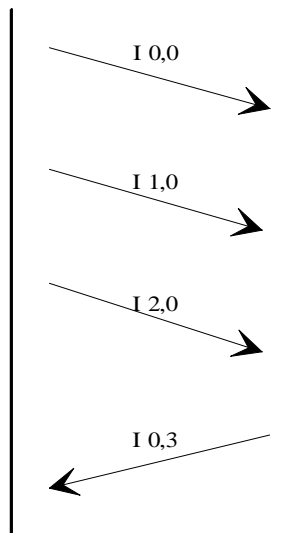


Figure 3.7 Acquittement par une trame d'information.

Reprise en cas d'erreur

Si une station reçoit une trame erronée (FCS faux), elle ne fait rien (comme si elle n'avait rien reçu). A la réception de la trame suivante, elle détectera une rupture de séquence et demandera une réémission à partir de la trame erronée au moyen d'une trame d'information avec la commande REJET (Figure 3.8).

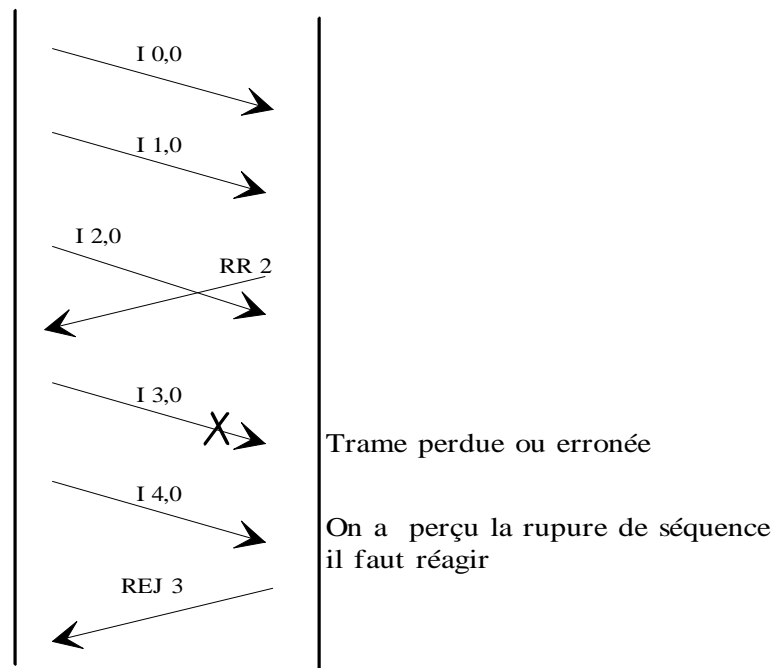


Figure 3.8 Utilisation de REJ.

Utilisation du bit P/F (Poll/Final)

En mode normal, ce bit est un droit à émettre concédé par le primaire (bit P). Le secondaire positionnera ce bit (bit F) lorsqu'il voudra rendre la parole au maître.

En mode asynchrone (LAP LAPB), lorsqu'il est positionné, il signifie que la station qui a émis la trame exige une réponse immédiate (bit P). Dans la trame de réponse, le bit sera également positionné (bit F). Voir exemple ci-dessous.

Utilisation du temporisateur T1

Lorsqu'elle émet une trame, la station T1 arme un temporisateur. Si au bout d'un certain délai (expiration du temporisateur) elle n'a pas reçu d'acquittement, elle réémettra la trame (Figure 3.9). Ce mécanisme est utile en cas de perte de RR. Au bout de N tentatives, la liaison sera considérée comme étant en défaut. (N et T1 sont paramétrables.)

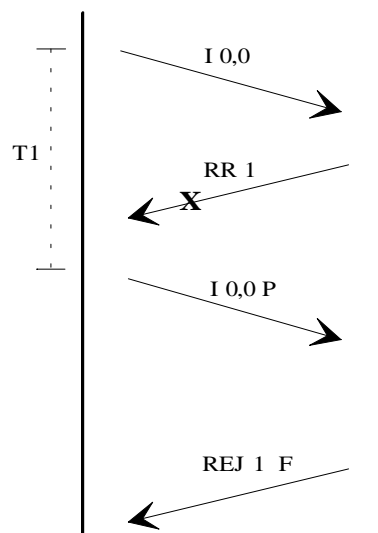


Figure 3.9 Utilisation d'un temporisateur.

3.4.4 Différentes classes de protocoles HDLC

Trois classes de procédure HDLC ont été définies pour tenir compte au maximum des caractéristiques physiques de l'environnement : transmission half-duplex ou duplex, liaison point à point ou multipoint, ...

3.4.4.1 La classe UN (Unbalanced Normal)

Cette classe utilise le mode de réponse normal (NRM : Normal Response Mode) où une station secondaire ne peut transmettre qu'après avoir reçu la permission d'émettre de la part de la station primaire opposée. Ceci équivaut à un polling : le primaire positionne le bit P pour donner la parole au secondaire ; celui-ci positionnera le bit F lorsqu'il aura terminé. La connexion est établie par une commande SNRM. Cette classe convient aux liaisons multipoints en exploitant le circuit de données en half duplex.

3.4.4.2 La classe UA (Unbalanced Asynchronous) ou LAP (Link Access Procedure)

Cette classe utilise le mode asynchrone (ARM : Asynchronous Response Mode) où une seule station assure la gestion de la transmission en jouant le rôle de station primaire, alors que l'autre station émet des réponses aux commandes de la station primaire. Une station secondaire peut émettre sans avoir été sollicitée par la station primaire, mais c'est la station primaire qui doit gérer les procédures de reprise en cas d'erreurs. Dans ce mode, il y a établissement de deux connexions entre les deux couples primaire/secondaire opposés. La connexion est établie dans chaque sens par une commande SARM (Figure 3.10). Cette classe est adaptée aux liaisons point à point ou multipoints avec une exploitation en full duplex.

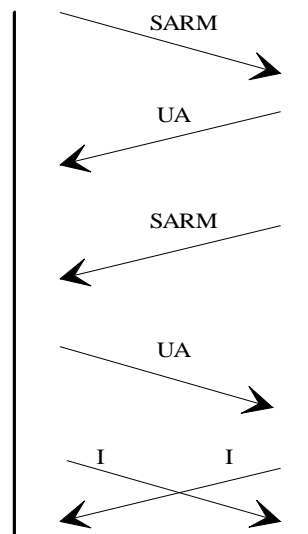


Figure 3.10 Connexion en mode asynchrone.

3.4.4.3 La classe BA (Balanced Asynchronous) ou LAP-B (Balanced Link Access Procedure)

Cette classe de procédure utilise le mode équilibré (ABM : Asynchronous Balanced Mode). Dans ce mode, chaque station possède simultanément une fonction de station primaire pour gérer le transfert des informations où elle est émettrice, et une fonction de station secondaire pour gérer le transfert des informations où elle est réceptrice. Les deux couples primaire secondaire fonctionnent en coopération, ce qui permet d'associer commande et réponse, autrement dit acquitter une trame d'information par une autre trame d'information. Une seule station effectue la connexion (Figure 3.11), par une commande SABM (Idem pour la déconnexion). Cette classe concerne les liaisons point à point en full duplex et est utilisé dans le réseau à commutation par paquets TRANSPAC : sa spécification se trouve dans l'avis X25.

Le mode ARM est maintenant quasi abandonné au profit du mode ABM.

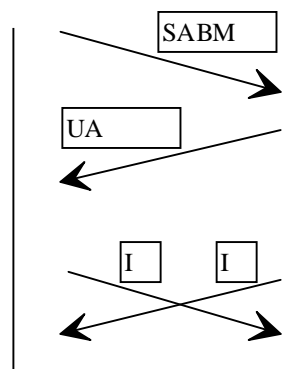


Figure 3.11 Connexion en mode équilibré.

En LAP-B, il est possible de demander la réémission d'une trame particulière par la commande SREJ (Selectif Reject). Cette possibilité n'est toutefois pas utilisée en X25 niveau 2.

3.4.5 Les procédures des réseaux locaux

Ces procédures seront étudiées dans un chapitre ultérieur.

On peut citer:

- l'anneau à jeton,
- CSMA/CD.

4. Les réseaux locaux

4.1 Qu'est-ce qu'un réseau local ?

Un réseau local (ou LAN = Local Area Network) a pour but de fournir un moyen de communication afin de partager des ressources (logiciel, disque, lecteur cd-rom, modem, imprimante...) et d'échanger des données (courrier électronique, forum, base de données...) pour l'ensemble du personnel d'une entreprise.

Il est implanté dans une zone géographiquement limitée, à l'intérieur d'un établissement (composé éventuellement de plusieurs bâtiments) ou d'un service par exemple. Les distances sont de l'ordre du kilomètre.

Du point de vue de ses performances, il se situe entre le bus et le réseau longue distance (WAN = Wide Area Network), soit une gamme de débits allant de 10 Mbps à quelques centaines de Mbps. A noter qu'il ne concerne qu'une seule organisation située dans un domaine privé...

Par abus de langage, on englobe généralement sous le terme de réseaux locaux un ensemble de ressources comprenant des applications distribuées comme par exemple le courrier électronique ou le partage d'imprimantes. 'Théoriquement', un réseau local se présente comme un empilement de deux couches (Figure 4-1) qui correspondent exactement aux couches 1 et 2 du modèle OSI. Plus précisément, un réseau local est tout simplement deux ou plusieurs postes reliés entre eux par un câblage spécial leur permettant d'échanger des informations.

2	LLC 802.3					
LIAISON	CSMA/CD 802.3			JETON 802.5		
1	Câble coaxial	Fibre optique	Paire torsadée	Câble coaxial	Fibre optique	Paire torsadée
PHYSIQUE						

Figure 4-1 Correspondance avec le modèle OSI.

Les différents réseaux locaux se distinguent essentiellement par le type de support physique utilisé, le mode de transmission, la topologie et la technique d'accès au support.

4.2 Les différents types de support physique

Voici les principaux supports rencontrés utilisés.

- Le câble coaxial : il permet un débit pouvant dépasser les 100Mbps sur quelques kilomètres. Son immunité est meilleure, mais le coût est plus élevé et l'installation plus délicate.
- La paire torsadée blindée : elle permet un débit pouvant dépasser 100 Mbps sur quelques centaines de mètres. Grâce à ce type de câble, on peut banaliser le câblage d'un immeuble en utilisant le même support pour la téléphonie et la téléinformatique. Un panneau de brassage permet de séparer et d'attribuer la juste connexion à chaque prise (téléphone ou ordinateur).
- La fibre optique : les débits peuvent être très élevés sur plusieurs centaines de kilomètres et l'immunité aux parasites est parfaite. Il bénéficie d'une très large bande passante, de faible atténuation. Son inconvénient provient de son coût encore élevé et de sa maîtrise technologique encore délicate (respect de rayons de courbure, sertissage délicat).

4.3 Topologie et câblage

La topologie décrit, d'un point de vue 'fonctionnelle', comment interagissent les différents nœuds (ou stations) d'un réseau. Trois topologies de base :

- L'étoile : un nœud central est connecté aux autres nœuds.
- Le bus : l'ensemble des nœuds est raccordé sur une seule liaison physique commune.
- L'anneau : l'information circule dans une direction le long d'un support en forme d'anneau.

Toutefois il ne faut pas confondre topologie et câblage. Le câblage peut être :

- arborescent,
- en bus,
- en étoile,
- en anneau,

indépendamment de la topologie du réseau. Ainsi, un réseau ayant une topologie en bus peut utiliser un câblage arborescent (voir ETHERNET).

4.4 Les méthodes d'accès ou la couche MAC

4.4.1 Les différentes techniques

Lorsqu'on partage un même support de communication entre deux ou plusieurs stations, il faut résoudre les problèmes d'accès concurrents au support. Les méthodes d'accès ont pour but de gérer l'utilisation du support. Deux approches sont alors utilisées.

- Par élection : une station unique aura la possibilité d'utiliser le support pour effectuer une transmission. Le réseau devra être capable de sélectionner (de façon centralisée ou distribuée) la station qui aura le droit d'émettre sur le support.
- Par compétition : plusieurs stations pourront tenter d'utiliser le support en même temps avec un risque de conflit. Il faudra alors mettre en œuvre des techniques pour résoudre les conflits d'accès (collision).

Un ensemble de méthodes d'accès a été normalisé par l'IEEE dans un premier temps, puis par l'ISO. La méthode d'accès constitue une couche dénommée MAC (Media Access Control). Les principales sont :

- CSMA/CD (compétition),
- l'anneau à jeton (élection),
- le bus à jeton (élection).

4.4.2 CSMA/CD

La technique CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) s'applique à une topologie en bus. Le principe est le suivant :

Une station désirant émettre une trame écoute le support et s'assure qu'il n'y a aucune émission à cet instant. Elle émet alors son message. Si une autre station a pris la même décision, il se produit une interférence que l'on appelle collision (Figure 4-2). Les stations s'en aperçoivent et cessent alors d'émettre. Elles effectuent alors une nouvelle tentative après un certain délai.

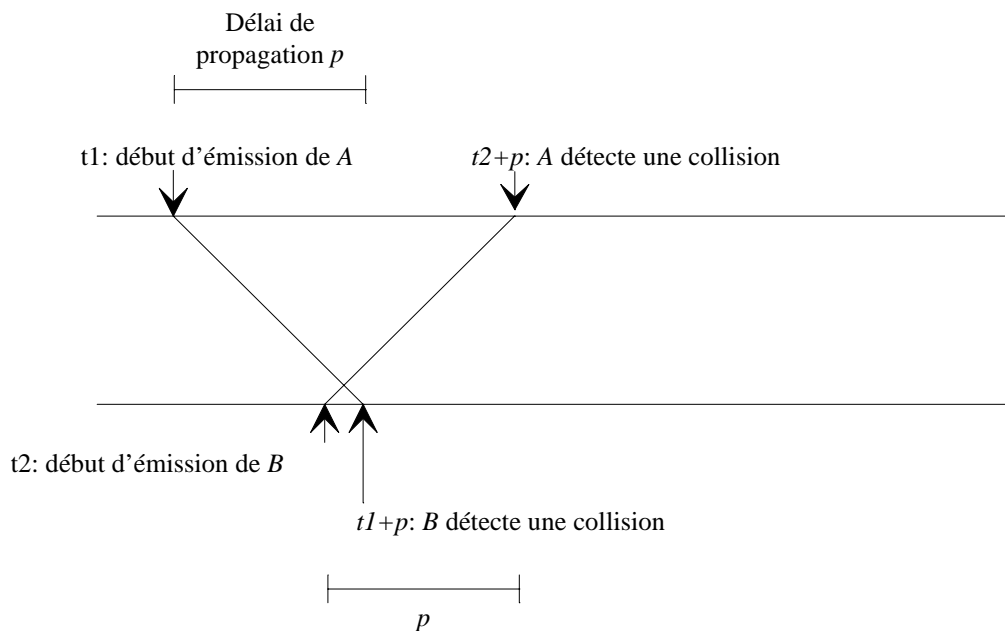


Figure 4-2 Voici une collision.

Pour bien comprendre le processus, il faut savoir qu'un signal possède une vitesse de propagation, d'environ 200 000 km/s. Par conséquent, un signal émis à une extrémité du bus ne sera reçu à l'autre extrémité qu'après un certain délai. Au cours de ce délai, une station située à cette autre extrémité peut avoir pris la décision d'émettre et provoqué ainsi une collision. Cette collision se propagera aussi à la même vitesse.

Par conséquent, une station ne sera assurée de n'avoir pas provoqué de collision qu'au bout d'un certain délai égal $2p$, p étant le délai de propagation du signal entre les deux stations (Figure 4-2).

Comme il est important qu'une station s'aperçoive d'une collision avant d'avoir fini d'émettre (cela permet à la station de savoir qu'elle a provoqué une collision), on impose une durée minimale à l'émission égale à $2xP$ (Figure 4-3), P étant le délai de propagation entre les deux stations les plus éloignées sur le bus. Ce délai est parfois appelé Tranche Canal (TC). Cela équivaut, compte tenu du débit nominal D , à imposer une longueur minimale de trame égale à $TC \times D$. Pour avoir une longueur minimale de trame raisonnable (i.e. pas trop grande),

on bornera la valeur TC en donnant une valeur maximale pour la distance entre les 2 stations les plus éloignées, ce qui revient à donner une valeur maximale pour la longueur du bus (sachant que le débit D est une caractéristique du support).

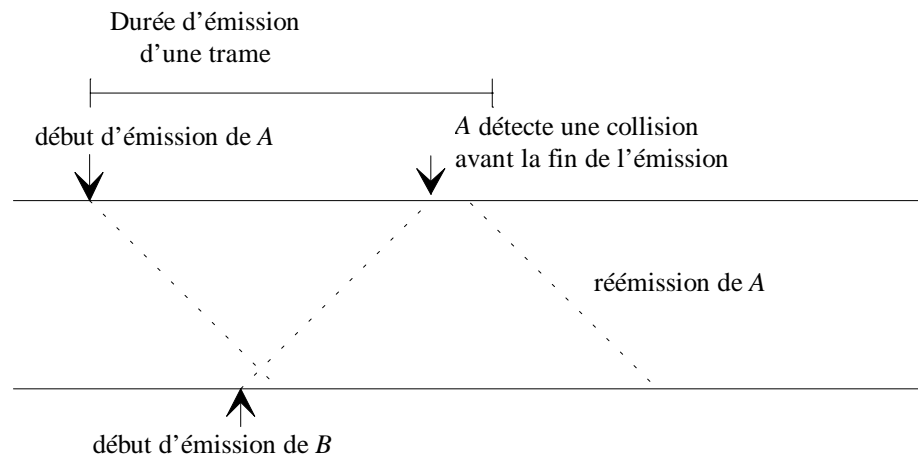


Figure 4-3 A perçoit la collision avant qu'il ait fini d'émettre.

Ainsi, une collision ne peut se produire qu'en début d'émission de trame : une fois le délai TC passé, la station émettrice est sûre de ne plus provoquer de collision pour la bonne raison que toutes les autres stations, voyant que le support est utilisé, se taisent.

On impose également un délai inter-trame entre l'émission de deux trames d'une même station afin de permettre une autre station de prendre la parole à n'importe quel moment : cela permet de gérer l'équité entre les différentes stations du réseau local.

4.4.3 L'ANNEAU A JETON

La structure est celle d'un anneau unidirectionnel dans lequel chaque station est reliée à la précédente et à la suivante par paires torsadées blindées.

Le principe est le suivant :

En l'absence de message à transmettre, une trame réduite appelée jeton circule en permanence sur l'anneau. Une station qui désire émettre s'approprie le jeton et introduit son message. Celui-ci est lu au passage par la station destinataire, et il est détruit à son retour à la station émettrice, qui remet alors le jeton en circulation.

Les remarques précédentes sur les délais de propagation restent valables. Avec une vitesse de propagation de 200 000 km/s, si l'anneau a une longueur de 1000m, il ne peut contenir que 5 bits! Sachant qu'un coupleur ne possède qu'une mémoire de 1 bit, la capacité d'un petit réseau peut s'avérer insuffisante pour contenir le jeton qui a une longueur de trois octets, il faut donc y remédier par des règles appropriées.

Le coupleur, on l'a vu, recopie chaque bit dans une mémoire d'attente, avant de le réémettre sur le tronçon aval. Lorsqu'il est dans la mémoire, le bit peut être inspecté et sa valeur modifiée avant qu'il soit réémis.

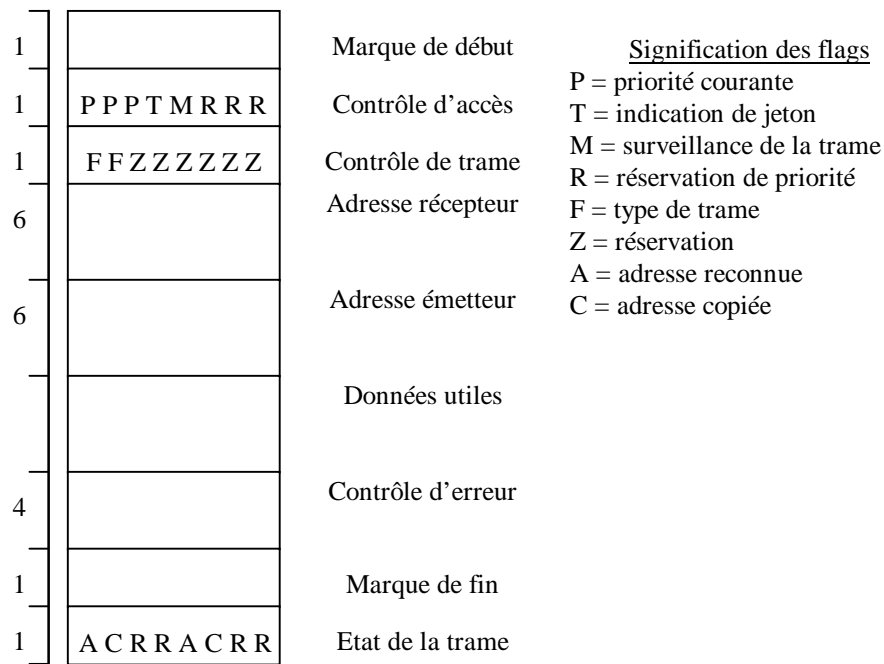


Figure 4-4 Format de trame 802.5

L'accusé de réception est constitué de 2 bits se trouvant en fin de trame, après le CRC. Ces 2 bits sont appelés A et C, et sont modifiés par le destinataire de la façon suivante :

- A = 0 et C = 0 (Le destinataire n'est pas actif),
- A = 1 et C = 0 (Le destinataire est actif mais n'a pas recopié la trame),
- A = 1 et C = 1 (Le destinataire est actif et la trame a été recopiée).

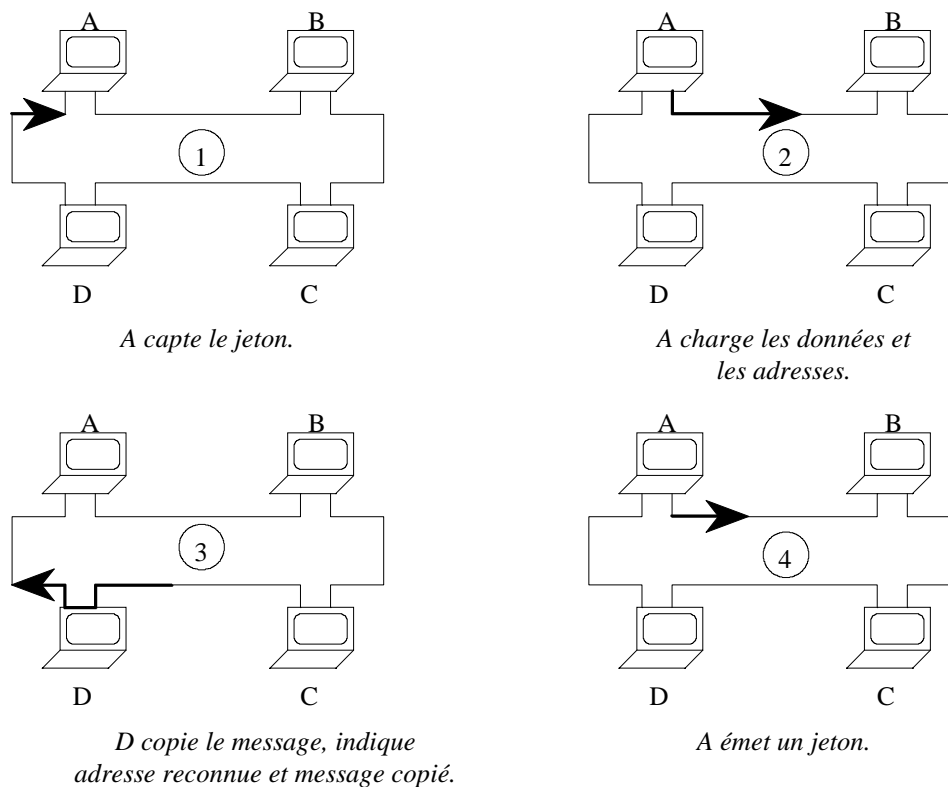


Figure 4-5 L'unité A envoie un message à l'unité D

Il existe dans l'anneau à jeton un mécanisme de gestion de priorité fonctionnant de la façon suivante :

Une trame ou jeton possède 2 zones : priorité et réservation de priorité.

Une station ne peut prendre un jeton que si son propre niveau de priorité est supérieur ou égal à celui du jeton.

Lors du passage d'une trame, une station peut réserver une priorité, ou bien changer la priorité réservée pour une priorité supérieure.

Lorsque cette trame est détruite et que le jeton est réémis, il l'est avec la priorité qui a été réservée. Il peut donc être pris par la station qui a réservé la priorité, ou une station de priorité supérieure.

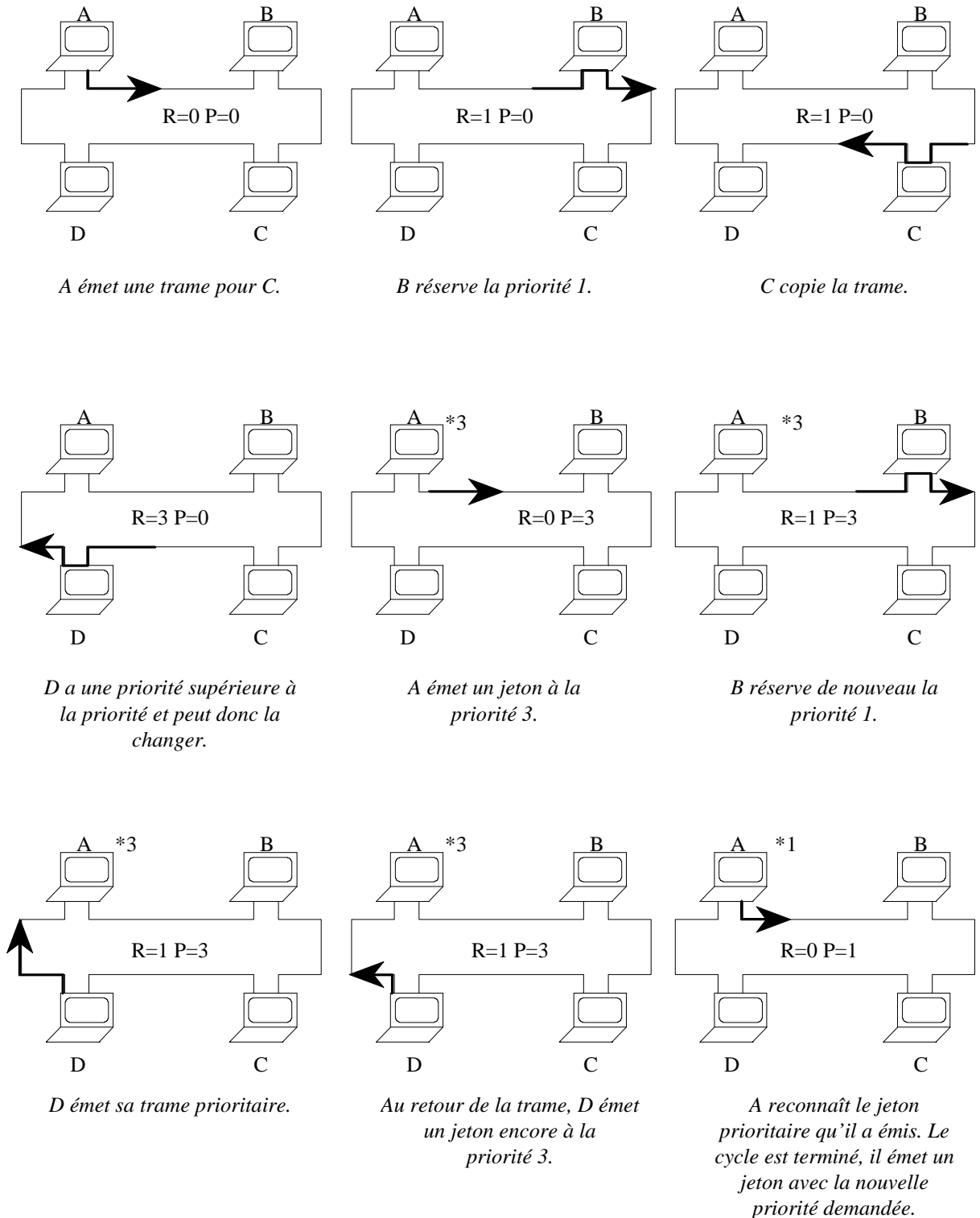


Figure 4-6 Un scénario...

Le protocole de l'anneau à jeton nécessite une fonction de supervision pour résoudre tous les conflits tels que :

- perte de jeton,

- duplication de jeton,
- trame orpheline (si une station s'est déconnectée).

Cette fonction peut être assurée par n'importe quelle station. Au démarrage du réseau, ou lorsque le moniteur s'est déconnecté, on procède à une élection de moniteur.

L'un des points faibles provient du fait qu'une coupure d'un fil rend l'anneau inutilisable. On y remédie par un câblage en étoile autour d'un coffret de raccordement, dans lequel un relais maintient la continuité de l'anneau si une station est hors service.

Les débits utilisés sur l'anneau à jeton sont 1, 4 et 16 Mbps. On raccorde 8 stations par étoile autour d'un concentrateur 8228, et au maximum 260 stations par réseau. L'anneau à jeton permet l'interconnexion d'AS400, S36 ou S38, de frontaux 372X et de contrôleurs 3174.

4.5 Le niveau LLC : la norme 802.2

La couche LLC a pour but d'offrir une interface unique aux 3 couches MAC : CSMA/CD, bus à jeton et anneau à jeton.

4.6 ETHERNET : un standard respectant la norme 802.3

ETHERNET est un brevet déposé en 1970 (par DIGITAL, INTEL et XEROX) qui est devenu une norme en 1980 (IEEE 802.3 et ISO 8802.3). C'est une topologie bus basée sur l'utilisation de la méthode d'accès CSMA/CD. Elle gère la couche physique et la couche MAC qui est une partie de la couche liaison du modèle OSI (l'autre partie étant à la charge de la couche LLC commune à 802.3, 802.4 et 802.5). La gestion des couches supérieures devant être assurée par d'autres logiciels (ou protocoles) comme TCP/IP.

4.6.1 Support physique

La norme 802.3 utilise des supports précisés par une référence de la forme *XTypeY* ou *X* précise le débit en *Mbps*, *Type* précise le type de transmission, et *Y* la nature du support.

10Base5 (ou Thick Ethernet)

- câble coaxial de 50 ohms,
- débit de 10Mbps,
- connecteur auto-perforant (prise vampire),
- transmission en bande de base (manchester),

10Base2 (ou Thin Ethernet)

- câble coaxial de 50 ohms,
- débit de 10Mbps,
- connecteur BNC
- transmission en bande de base (manchester),

10BaseT

- paire torsadée (catégorie 5 souhaitée),
- débit de 10Mbps,
- connecteur de type RJ,
- transmission en bande de base (manchester),

10BaseF

- fibre optique.

4.6.2 Câblage

4.6.2.1 Câblage homogène

10Base2

- câblage en bus,
- tronçons de longueur maximale égale à 185 m,
- le couplage aux appareils se fait au moyen d'une carte réseau.

Commentaires :

Les caractéristiques d'Ethernet impose un nombre maximum de nœuds par tronçon (100), ainsi qu'une longueur maximum pour un tronçon (185m). Chaque tronçon doit comporter à ses deux extrémités des bouchons pour éviter la réflexion du signal. On peut raccorder jusqu'à 5 tronçons en série au moyen de répéteurs (Figure 4-7).

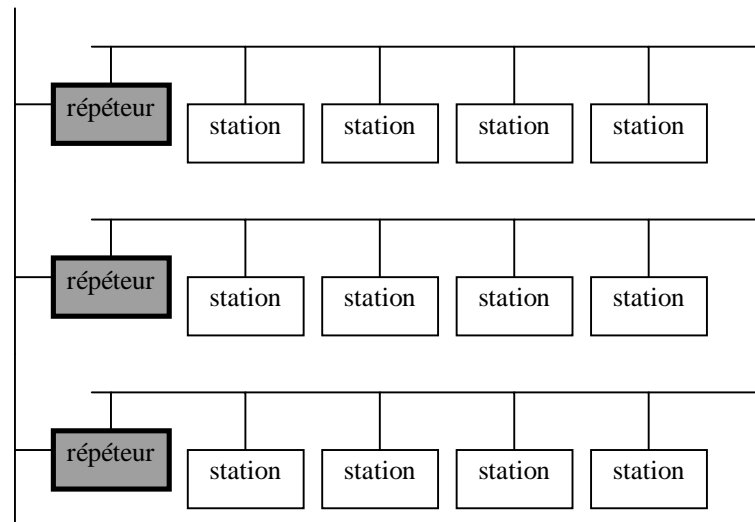


Figure 4-7 Utilisation de répéteurs pour relier 4 tronçons

10Base5

- câblage en bus,
- utilisation d'un transceiver (transmitter/receiver : élément actif raccordant le nœud au câble coaxial),
- tronçons de longueur maximale égale à 500m,
- au maximum 100 transceivers par tronçon,
- 5 tronçons maximum.

Commentaires :

On raccorde, sur le câble, un dispositif appelé *transceiver* au moyen d'une prise auto-perforante (prise vampire). Ce type de connexion permet de raccorder un nœud au réseau sans interruption du réseau local. Le transceiver assure l'écoute du câble et la détection des collisions.

10BaseT

- câblage en étoile,
- brins de longueur maximale égale à 100m.

10BaseF

- câblage en étoile.

4.6.2.2 Câblage hétérogène

Il est possible de faire cohabiter, au sein d'un même réseau local, ces différents types de câblage moyennant des boîtiers pouvant interconnecter 2 tronçons de type différent. Par exemple, certains répéteurs peuvent régénérer un signal électrique ou optique. Un autre type de boîtier, appelé hub, permet le passage entre 10BaseT et 10base2. Et ces possibilités sont judicieusement exploitées pour diverses raisons d'origine technique, ou économique.

4.6.2.3 Autres boîtiers

Contrairement aux répéteurs qui régénèrent des signaux électriques (avec ses distorsions), un pont régénère des trames (et fournit par conséquent un signal de 'bonne qualité'). Un pont filtrant aura pour rôle supplémentaire d'acheminer les trames reçues vers l'autre segment, que si cela est nécessaire : une trame émise par la station A à destination de B ne sera pas régénérée sur le segment 2 (Figure 4-8). Pour faire ce filtrage, le pont filtrant doit connaître deux listes d'adresses (une par segment) qui recensent les stations des deux segments auxquels il est connecté. Ces listes peuvent être mises à jour par le pont lui-même (pont auto-adaptatif) à partir de l'adresse de l'expéditeur des trames reçues.

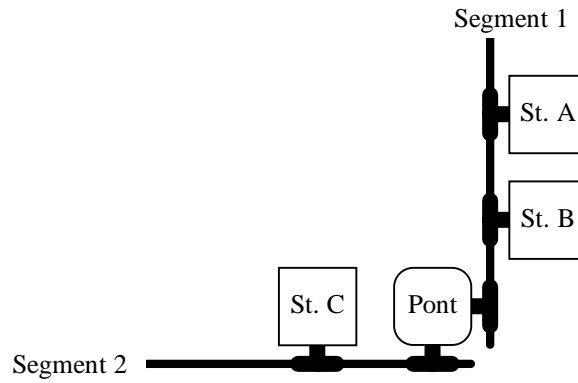


Figure 4-8 Un pont filtrant reliant 2 segments

Le câblage se présente alors comme un jeu de construction avec certaines pièces élémentaires (BNC en T, bouchon, câble, répéteur, pont, passerelle, hub, station...) ou composées (Figure 4-9), et quelques règles à respecter (on simplifie le jeu en passant sous silence les aspects de connecteurs : mâle/femelle, RJxx/BNC/...).

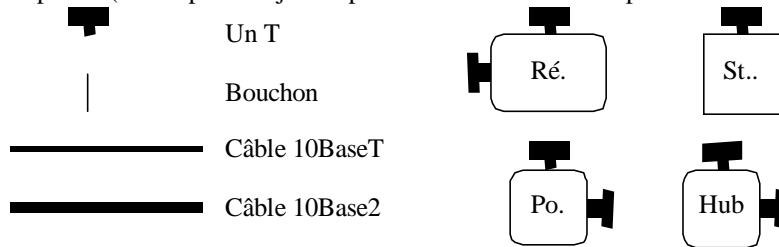


Figure 4-9 Des pièces d'un jeu de construction...

La figure suivante donne le câblage du Département Informatique (octobre 98). On peut remarquer la présence d'un boîtier (Pa. : 'passerelle'). traitant des informations au niveau des applications.

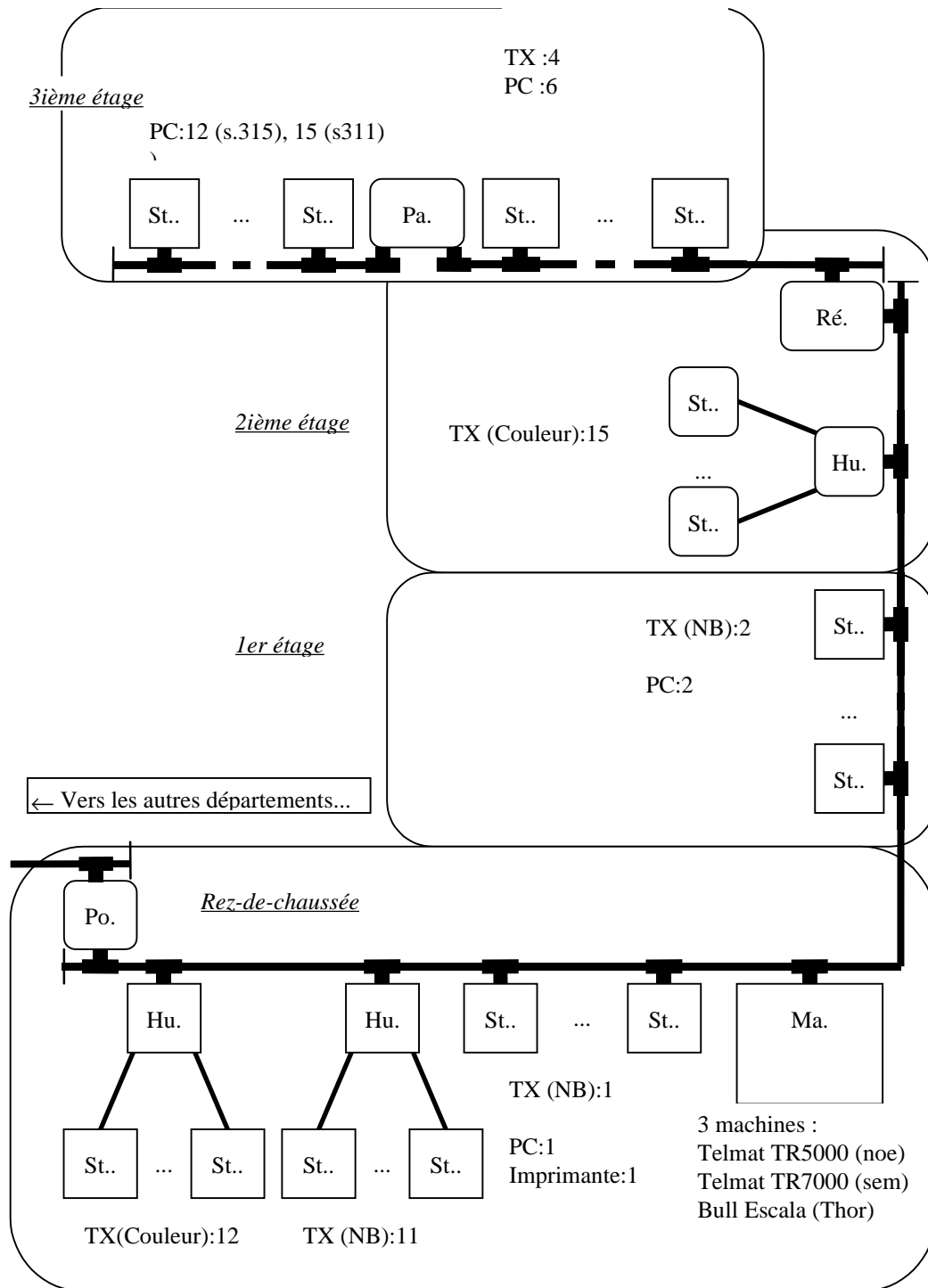


Figure 4-10 Câblage du département

4.6.3 CSMA/CD : méthode d'accès de l'Ethernet

La méthode d'accès utilisée est la technique CSMA/CD étudiée précédemment. Donnons les valeurs de quelques caractéristiques de CSMA/CD dans le cadre d'Ethernet.

4.6.3.1 Taille maximale des tronçons

Les tronçons doivent avoir une taille inférieure à une longueur maximale précisée dans la norme (4.6.2). Dans le cas contraire, un dysfonctionnement apparaîtrait dans le cadre de la détection des collision : une station peut

provoquer une collision, sans s'en apercevoir. Et ce type d'erreur peut être corrigé par des protocoles fiables des couches supérieures, mais avec un coût plus important qui entraînerait une sorte de saturation du réseau. Rappelons les valeurs La partie câblage précise la taille maximale des tronçons

4.6.3.2 Taille minimale des trames

La vitesse de propagation étant de 200 000 km/s et la distance maximale qui sépare deux stations étant de 2,5 km, le délai de propagation est $P = 2,5/200\ 000 = 12,5\ \mu\text{s}$ d'où $TC = 2xP = 25\ \mu\text{s}$. En fait, compte tenu des retards que peuvent induire des appareillages tels que répéteurs et ponts, on prend $TC = 51,2\ \mu\text{s}$, ce qui, pour un débit de $D = 10\ \text{Mbps}$, donne une taille de trame minimale de $DxTC = 10\text{Mbps} \times 51,2\ \mu\text{s} = 512\ \text{bits}$, soit 64 octets.

4.6.3.3 Délai d'attente avant retransmission

Dans le cas d'une collision, on décide de réémettre après un délai aléatoire déterminé de la façon suivante. Soit n le nombre de collisions détectées.

Jusqu'à une valeur KM , ($1 \leq n \leq KM$) on tire au sort dans une fourchette $(0, 2^{n-1}) \cdot TC$.

Jusqu'à la valeur NM , on prend une fourchette $(0, 2^{KM-1}) \cdot TC$.

Au-delà, le réseau est supposé en défaut.

Le schéma suivant (Figure 4-11) résume ces différents cas. On prend en général $KM = 10$, $NM = 16$.

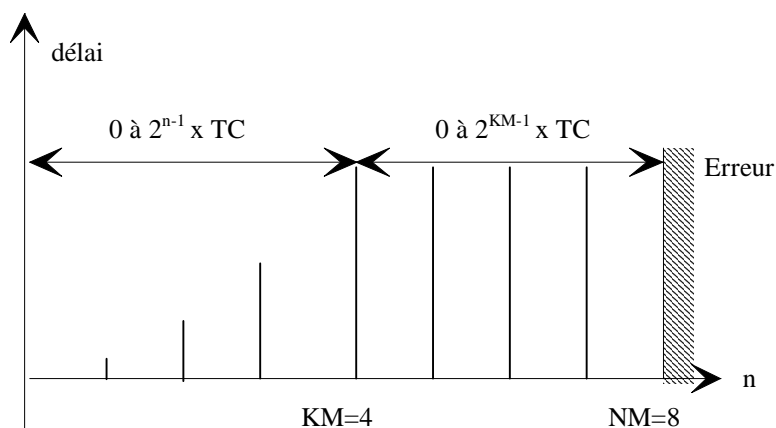


Figure 4-11 Calcul du délai avant retransmission.

Exemple : $KM = 4$, $NM = 8$

après la collision n° 1 on tire entre 0 et $1xTC$

2 0 et $2xTC$

3 0 et $4xTC$

4 0 et $8xTC$

8 0 et $8xTC$

Au-delà, on déclare une erreur.

Un délai minimum entre deux émissions consécutives de trames par une même machine est imposé (fixé à $9,6\ \mu\text{s}$) pour éviter la monopolisation du support de transmission par une machine.

4.6.4 Adresses ETHERNET

Les adresses ETHERNET sont uniques au niveau mondial (normalement) et codées sur 6 octets (0:40:7:3:4:2b est l'adresse Ethernet d'un dispositif). Certaines adresses peuvent avoir une signification particulière comme par exemple l'adresse où tous les bits sont à 1 qui correspond à toutes les stations du réseau (broadcast address).

4.6.5 Format d'une trame

Les trames (Figure 4-12) ont longueur comprise entre 72 et 1526 octets. Le préambule est composé de 7 octets 10101010 pour permettre la synchronisation-bit du récepteur. L'octet de début de trame a pour valeur 10101011. Si la taille des données est inférieure à 46 octets, on utilisera des octets de bourrage (padding) sans signification. Le contrôle d'erreur utilise un code polynomial avec un polynôme générateur de degré 32. Le contrôle se fait sur les champs adresses, longueur des données, données utiles et octets de bourrage.

Préambule	Délimiteur de trame	Adresse Destinataire	Adresse Expéditeur	Type de trame	Données	Contrôle d'erreur
-----------	---------------------	----------------------	--------------------	---------------	---------	-------------------

Figure 4-12 Format de trame ETHERNET

Signification et taille des différents champs :

Préambule (7 octets) :	(10101010) ⁷ ,
Délimiteur de trame (1 octet) :	10101011,
Adresse destinataire (6 octets) :	Adresse ETHERNET du destinataire,
Adresse origine (6 octets) :	Adresse ETHERNET de l'émetteur,
Type de trame (2 octets) :	précise à quel protocole s'adressent les données, 0600 XNS, 0800 IP, 0806 ARP,
Données (46-1500 octets) :	les données. Au minimum 46 octets, (avec caractères de bourrage si nécessaire)
Contrôle d'erreur (4 octets) :	Code polynomial.

4.7 Interconnexion de réseaux locaux

Pour les petites entreprises, les réseaux locaux peuvent s'avérer satisfaisants. Mais à partir d'une certaine taille de l'entreprise (plusieurs bâtiments sur un même site, voire plusieurs sites), une architecture plus complexe s'impose. Des nouvelles fonctionnalités apparaissent, comme par exemple le routage (couche 3 du modèle OSI) et l'interconnexion de réseaux fondamentalement différents :

- deux réseaux locaux de nature différente : token ring et Ethernet,
- réseau local (LAN) et réseau grande distance (WAN) : Ethernet et Internet.

Des routeurs, équipements capables de faire le routage, permettront d'interconnecter de tels réseaux.

4.8 Des nouveautés

Les réseaux locaux vivent une véritable mutation : les parcs informatiques actuels utilisent essentiellement des réseaux traditionnels avec des débits de l'ordre de 10Mbps, peu d'entreprises et administrations ont basculé vers le 100Mbps, et actuellement (début 1998) fleurissent sur le marché des solutions permettant des débits de l'ordre du gigabit. Les administrateurs de réseaux locaux vont être envahis et confrontés par de nouveaux standards comme Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, FDDI, Iso-Ethernet, ATM...

5. Les réseaux

5.1 Définition d'un réseau

Un réseau est un ensemble de commutateurs (ou noeuds) et de lignes de transmission, permettant la mise en relation des usagers connectés au réseau.

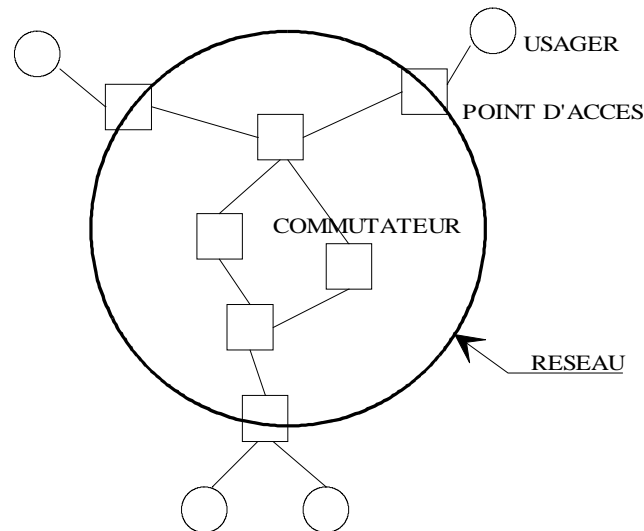


Figure 5.1 Un exemple de réseau

S'il existe plusieurs chemins possibles entre 2 points d'accès, le réseau est dit "maillé". Si les équipements des usagers sont de conception hétérogène, le réseau est dit "ouvert". Un réseau dit "à valeur ajoutée" propose des services qui vont au delà du simple transport de l'information (le terme est vague). Un réseau peut être public ou privé.

5.2 Les différents types de réseaux

5.2.1 Réseaux à commutation de circuits

Dans ce type de réseau, on établit un chemin physique entre 2 correspondants. Ce chemin reste établi tout le temps que dure la communication. Il est établi en début de communication et libéré en fin de communication. C'est le cas du réseau téléphonique. Si les correspondants n'ont pas de données à transmettre pendant un certain temps, la liaison reste inoccupée. D'où l'idée des réseaux à commutation de messages.

5.2.2 Réseaux à commutation de messages

Dans ce type de réseau, un message est transmis à travers le réseau de noeud en noeud. Avantage : on ne monopolise pas de lien pour une communication inactive. Inconvénient: si les messages sont longs, il faut des ressources importantes pour les mémoriser au niveau du noeud. D'où l'idée des réseaux à commutation de paquets.

5.2.3 Réseaux à commutation de paquets

Le message à transmettre est découpé en tronçons ou paquets, plus faciles à acheminer ou transmettre. Si l'on compare le temps nécessaire à la transmission d'un message au temps nécessaire à la transmission du même message découpé en plusieurs paquets, on s'aperçoit que le gain de temps est évident.

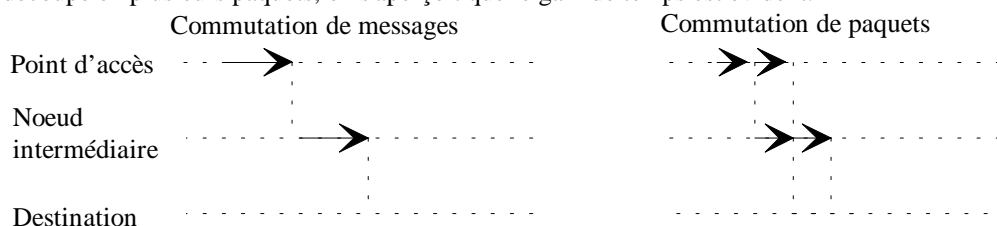


Figure 5.2 Temps de transmission

5.2.4 Datagrammes et circuits virtuels

Deux philosophies peuvent être adoptées :

- les paquets d'un message ou d'une communication ne suivent pas tous le même chemin dans le réseau. Dans ce cas, il est fondamental de pouvoir les restituer dans l'ordre dans lequel ils ont été émis. Ce travail peut d'ailleurs être confié ou non au réseau. On appellera ces paquets des datagrammes.
- les paquets suivent tous le même chemin et ne peuvent pas en principe se doubler. On a dans ce cas matérialisé un circuit, bien que ce circuit ne soit pas établi physiquement. C'est pourquoi on appelle ces circuits des circuits virtuels.

5.2.5 Mode connecté et mode non connecté

En mode connecté, on s'assure de la présence de son interlocuteur avant de commencer un échange d'information. On a donc une phase d'établissement de la communication, puis une phase d'échange d'informations, et enfin une phase de libération. Cette façon de procéder permet une meilleure sécurité des échanges, elle est adaptée au contrôle de flux et de séquence.

Exemple de mode connecté: une conversation téléphonique.

En mode non connecté, on ne prend aucune de ces dispositions, et on envoie des messages sans se préoccuper de leur sort.

Exemple de mode non connecté: le courrier remis à la poste.

Les deux solutions ont leurs avantages: dans un cas on privilégie la sécurité, au prix d'un fonctionnement assez lourd. Dans l'autre cas, on privilégie la rapidité, mais il faut reporter ailleurs les mécanismes de contrôle indispensables.

Les deux écoles se sont affrontées au sein de l'ISO. Ce sont les partisans du mode connecté qui ont eu tout d'abord gain de cause et c'est le protocole X25 qui a été adopté le premier.

Toutefois le mode sans connexion a été adopté ultérieurement sous la norme ISO 8473. Les deux protocoles coexistent actuellement.

5.2.6 Le routage

Le routage est la fonction qui permet de décider sur quelle ligne de sortie un paquet entrant doit être retransmis. Chaque noeud du système possède une table de routage (ou table d'acheminement) qui permet d'aiguiller les messages vers la bonne ligne de sortie en fonction de l'adresse de destination. Et l'on souhaite minimiser le délai d'acheminement des messages, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre le début de la transmission du message et la fin de sa réception. Ce temps dépend des temps de transmission sur les lignes et des temps d'attente dans chaque noeud traversé. On distingue deux types de routage:

- le routage non adaptatif. Dans ce cas, on ne tient pas compte de la mesure ou de l'estimation du trafic pour prendre une décision de routage.
 - ⇒ l'algorithme du plus court chemin. Comme son nom l'indique, on estime le plus court chemin entre deux usagers, cette notion de plus court chemin peut être déterminée en distance, en nombre de noeuds traversés, ou bien en temps d'acheminement.
 - ⇒ le routage multichemin. Il permet d'acheminer les paquets sur plusieurs chemins de façon statistique afin d'équilibrer le trafic. Chaque choix peut être affecté d'un poids relatif suivant que le chemin correspondant est plus ou moins court. Ce procédé permet d'avoir un chemin de secours en cas de défaillance du chemin principal.
- le routage adaptatif. La table de routage est mise à jour périodiquement ou lors de l'arrivée de certains événements (surchARGE d'une ligne, panne d'un noeud, ajout d'un élément dans le réseau, changement de configuration, modification

du trafic, ...) afin de minimiser les temps d'acheminement. Un routage adaptatif peut être:

- ⇒ centralisé. Dans ce cas, il existe un centre de contrôle de routage recevant des informations de tous les commutateurs et leur communiquant les tables de routage. Cependant ce procédé est fragile car le centre de contrôle peut être sujet à des pannes. De plus, toutes les informations de routage et de trafic convergent vers le centre de contrôle, et peuvent être retardées en cas d'encombrement.
- ⇒ local. Un exemple simple est l'algorithme dit "hot potatoe" : chaque commutateur recevant un paquet cherche à s'en débarrasser le plus vite possible, et l'achemine vers la sortie la moins encombrée. Un autre algorithme est le routage par inondation ou l'on envoie un paquet simultanément vers plusieurs destinations. Cette méthode n'est pas particulièrement optimisée, mais convient à des réseaux militaires ou la destruction d'un commutateur est envisageable...
- ⇒ distribué. Dans ce cas, chaque commutateur tient à jour une table des délais (si le délai est le critère choisi) nécessaires pour atteindre tous les noeuds du réseau. Pour ce faire, il dispose du délai nécessaire pour atteindre tous les noeuds voisins (obtenue par exemple par un paquet de test) ainsi que des tables de tous ses voisins. Il est donc capable de reconstruire sa propre table en prenant pour chaque noeud à atteindre: $\text{Délai} = \text{Minimum}(\text{délai pour noeud voisin} + \text{délai à partir du noeud voisin})$. On reproduit périodiquement ce cycle.

5.2.7 Le contrôle de congestion

Si on trace la courbe nombre de paquets reçus en fonction du nombre de paquets émis, on s'aperçoit qu'au delà d'un certain seuil, il y a perte de paquets par suite de l'engorgement des commutateurs. S'il y a retransmissions successives, le processus ne fait qu'empirer et il y a écroulement brutal du réseau appelé congestion. Cette situation arrive dès que le taux d'utilisation des ressources (ligne de transmission, mémoire tampon, ...) est trop élevé.

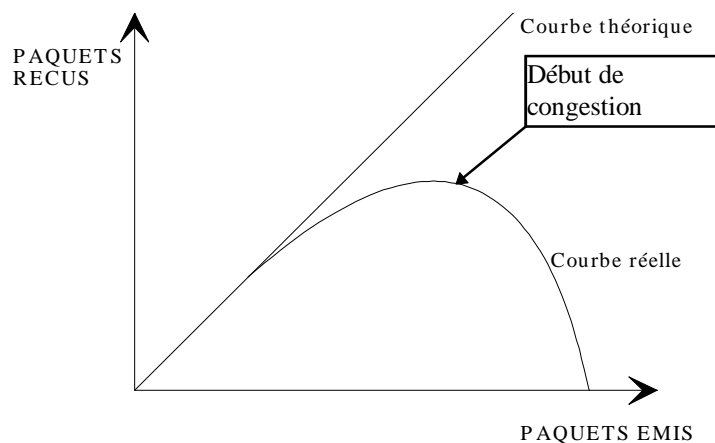


Figure 5.3 Situation de congestion

Il existe un certain nombre d'algorithmes qui permettent d'éviter d'arriver à cette situation :

1. attribution de ressources pour une communication entre 2 usagers (sous-utilisation des ressources du réseau et problème de deadlock),
2. pas de réservation (message ignoré si pas de ressource disponible... un peu trop violent !),
3. une solution intermédiaire serait de limiter le nombre de message en transit dans le réseau, ou le nombre de message par communication.

5.3 La norme X25

Elle a été adoptée en 1976 par le CCITT, et elle définit un ensemble de protocoles utilisés par plusieurs réseaux publics de différents pays, dont TRANSPAC pour la France.

- X25 niveau 1 définit la couche physique.
- X25 niveau 2 définit la couche liaison, et est un sous-ensemble de HDLC, le LAP-B.
- X25 niveau 3 ou niveau paquet, est étudié ici.

On voit donc que les paquets seront véhiculés par les trames d'information de HDLC (Figure 5.4).

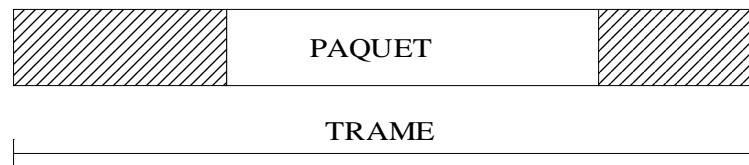


Figure 5.4 Un paquet dans une trame

5.3.1 Notion de circuit virtuel et de voie logique

X25 offre la possibilité de multiplexage: un usager d'un réseau X25 peut s'adresser simultanément à plusieurs autres usagers.

Un circuit virtuel est caractérisé par l'établissement et le maintien à travers le réseau d'une relation entre 2 ETTD. Pour ce faire, chaque usager dispose d'un certain nombre de voies logiques, défini à la configuration. Chaque circuit virtuel établi est repéré par le numéro de voie logique qu'il emprunte.

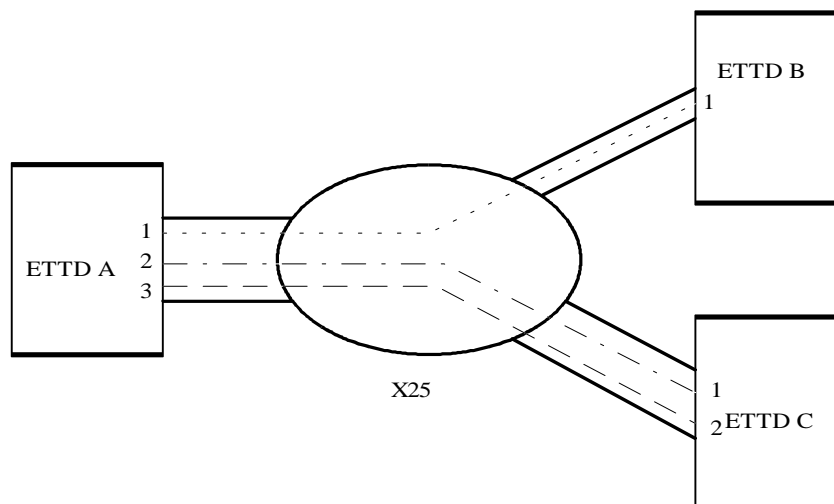


Figure 5.5 Trois circuits virtuels...

Le schéma précédent montre trois circuits virtuels (Figure 5.5) :

- 1°circuit virtuel: entre voie logique 1 de A et voie logique 1 de B,
- 2°circuit virtuel: entre voie logique 2 de A et voie logique 1 de C,
- 3°circuit virtuel: entre voie logique 3 de A et voie logique 2 de C.

Un usager qui désire établir un circuit virtuel avec un autre usager procède de la manière suivante:

- il recherche un numéro de voie logique disponible (donc inutilisé) et constitue un paquet d'appel comportant le numéro de voie logique choisi et l'adresse de son correspondant,
- lorsque ce paquet d'appel est reçu par le commutateur de rattachement, celui-ci consulte sa table de routage, et détermine sur quelle sortie physique il doit acheminer le paquet d'appel reçu,
- il s'attribue un numéro de voie logique et transmet de la même manière le paquet d'appel,

- simultanément, il crée un élément dans une table avec l'association voie physique + voie logique entrante / voie physique + voie logique sortante. Cet élément constitue un maillon du circuit virtuel,
- le paquet d'appel chemine jusqu'à son destinataire. Si celui-ci accepte l'appel, il émet un paquet d'acceptation d'appel, qui suivra le même chemin en sens inverse,
- dès lors, les paquets ne sont plus repérés que par le numéro de voie logique, l'adresse n'est plus nécessaire,
- lorsque le circuit virtuel est confirmé, on peut échanger des paquets d'information. La procédure sera poursuivie jusqu'à la libération du circuit virtuel par un paquet de libération qui annulera le circuit virtuel au long de son passage,
- les voies logiques ainsi libérées sont disponibles pour une autre utilisation.

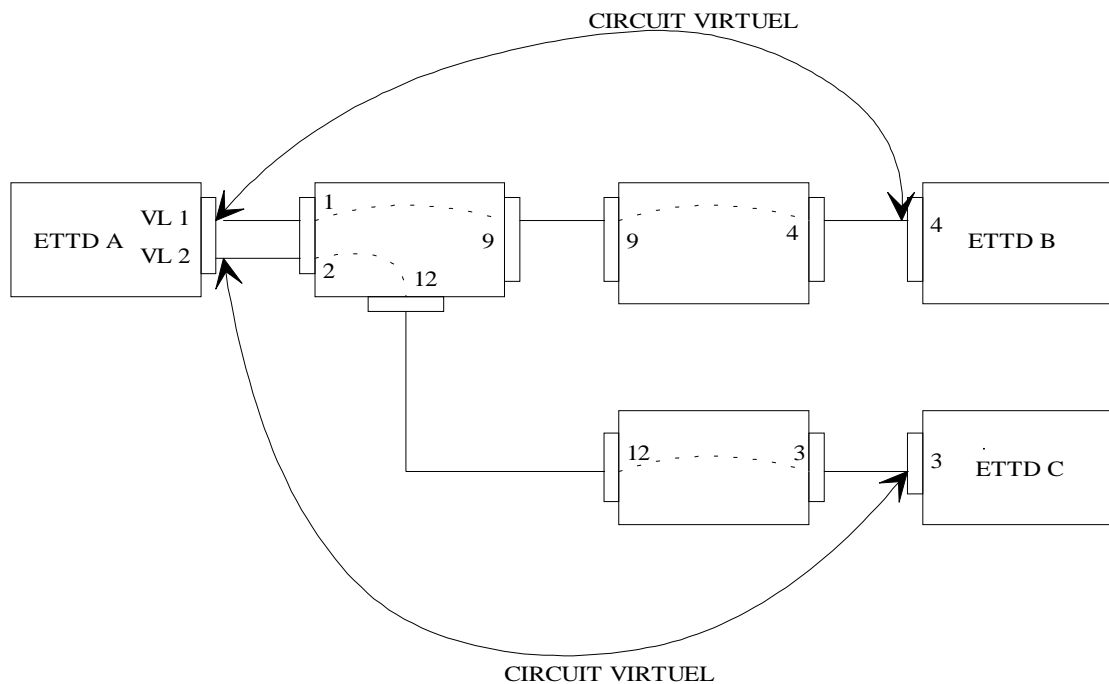


Figure 5.6 Les maillons des circuits virtuels.

Il existe 2 types de circuits virtuels:

- les circuits virtuels commutés (CVC) établis et libérés à chaque connexion,
- les circuits virtuels permanents (CVP) établis en permanence.

X25 permet l'utilisation de 4096 voies logiques par utilisateur.

5.3.2 Contrôle de flux

Le mécanisme de contrôle de flux est identique à celui de HDLC. On aura donc une notion de 'fenêtre paquet' comme on avait une 'fenêtre trame' (modulo 8, exceptionnellement modulo 128) caractérisant le niveau d'anticipation, ainsi que des paquets:

RR = Receive Ready

RNR = Receive Not Ready

REJ = Reject

Le contrôle de flux s'effectue entre deux noeuds de réseau, ou entre un utilisateur et un noeud de réseau. Exceptionnellement, il peut s'effectuer de bout en bout (bit D)

5.3.3 Adressage

Un usager sera identifié par une adresse comportant au maximum 15 chiffres décimaux.

5.3.4 Fonctionnement

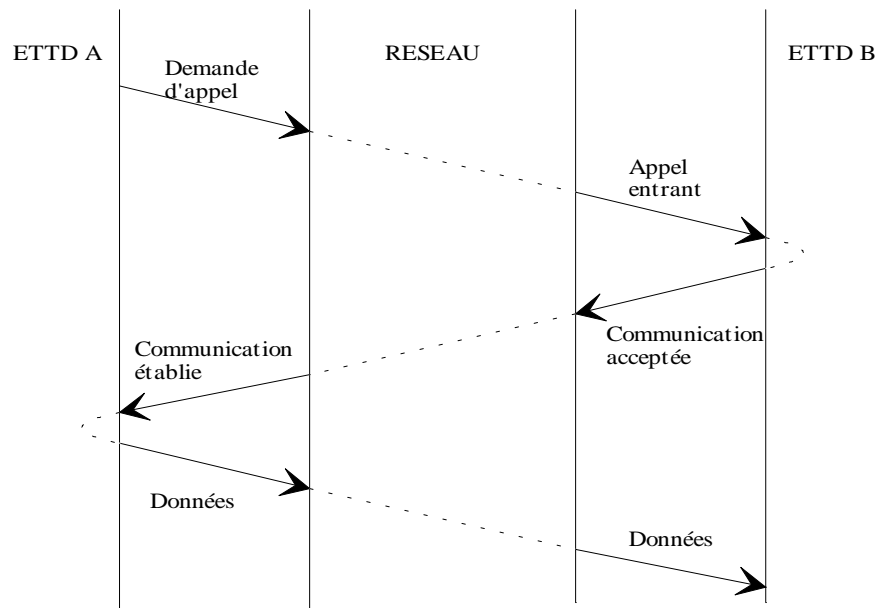


Figure 5.7 Etablissement d'un circuit virtuel.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Octet 1	0	D	0	1	NUMERO			
Octet 2	DE VOIE LOGIQUE							
Octet 3	0	0	0	0	1	0	1	1
Octet 4	longueur adresse appelant				longueur adresse appelé			
	adresses appelé et appelant							
	0	0	Longueur du champ de facilités					
	Facilités							
	Donnés d'appel de l'utilisateur							

Figure 5.8 Format du paquet d'appel.

Bit D:

Sert à demander un contrôle de flux de bout en bout

Facilités :

On peut dans un paquet d'appel demander un certain nombre de "facilités" ou services particuliers. L'appelé ou le réseau peut ou non les accepter.

Exemples de facilités :

- Taxation au demandé (PCV),
- Groupe fermé d'abonnés,
- Longueur de paquet non standard,
- Taille de fenêtre non standard,
- Négociation de classe de débit,
- Négociation des paramètres de contrôle de flux,
- Non utilisation du CV 0.

Données utilisateur:

L'utilisateur peut transmettre des données sur un paquet d'appel, ce peut être par exemple un mot de passe, ou un code destiné à un aiguillage dans le service (Vidéotex). Ne pas confondre avec l'adresse complémentaire.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Octet 1	Q	D	0	1	NUMERO			
Octet 2	DE VOIE LOGIQUE							
Octet 3	P(R)		M		P(S)		0	
	Données utilisateur							

Figure 5.9 Format d'un paquet de données

Bit Q:

Sert à discriminer des données "qualifiées" (données de service) des données utilisateurs.

Bit M:

Sert à indiquer qu'un paquet a été fragmenté (si les tailles de paquets sont différentes à chaque extrémité).

P(R):

Numéro de paquet (modulo 8) que l'ETTD est prêt à recevoir.

P(S):

Numéro de paquet (modulo 8) du paquet émis.

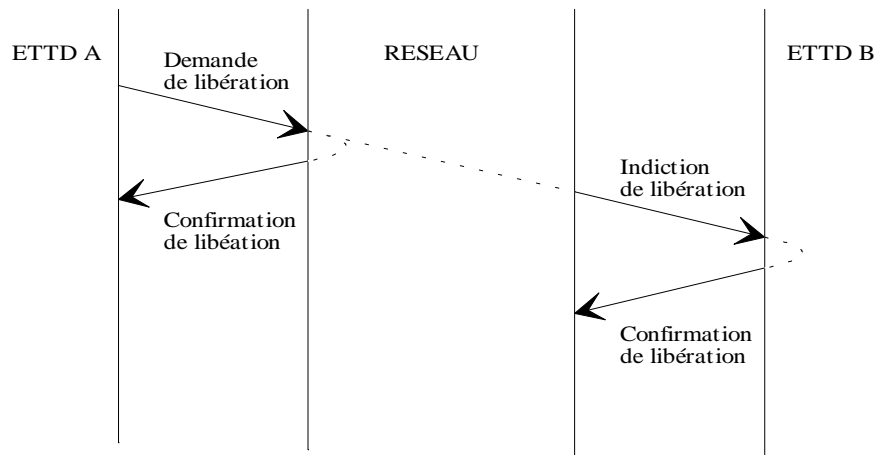
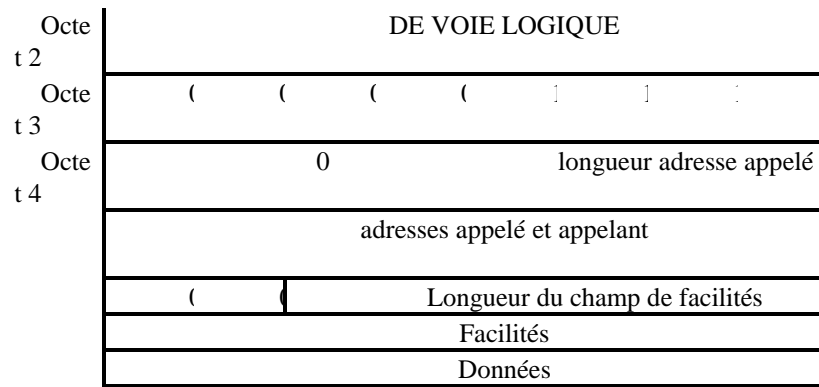


Figure 5.10 Libération d'un circuit virtuel

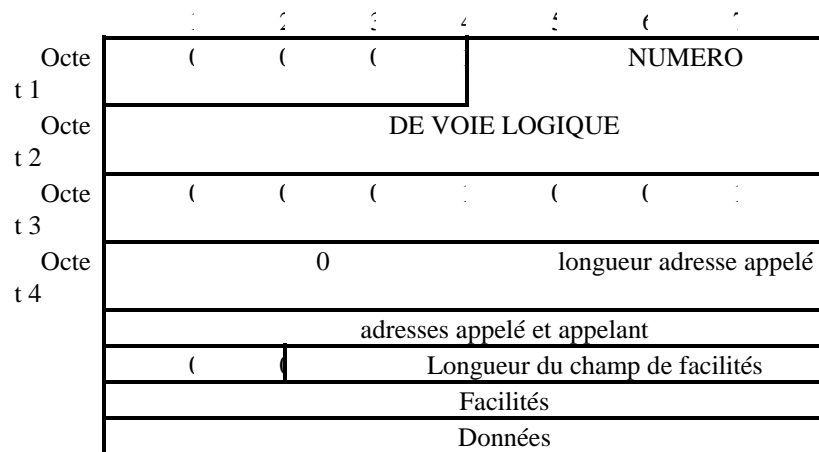
Différents types de paquets:

- Paquet de données,
- Paquet d'appel et appel entrant,
- Paquet communication acceptée et communication établie,
- Paquet d'établissement de CV,
- Paquet de demande de libération et indication de libération,
- Paquet de confirmation de libération,
- Paquet de libération de CV,
- Paquet RR,
- Paquet RNR,
- Paquet REJ,
- Paquet de contrôle de flux,
- Paquet interruption,
- Paquet de confirmation d'interruption,
- Paquet prioritaire pouvant doubler les autres paquets,
- Paquet de réinitialisation et indication de réinitialisation,
- Paquet de confirmation de réinitialisation,
- Réinitialise tous les CV,
- Paquet de demande de reprise et indication de reprise,
- Paquet de confirmation de reprise,
- Réinitialise un CV.

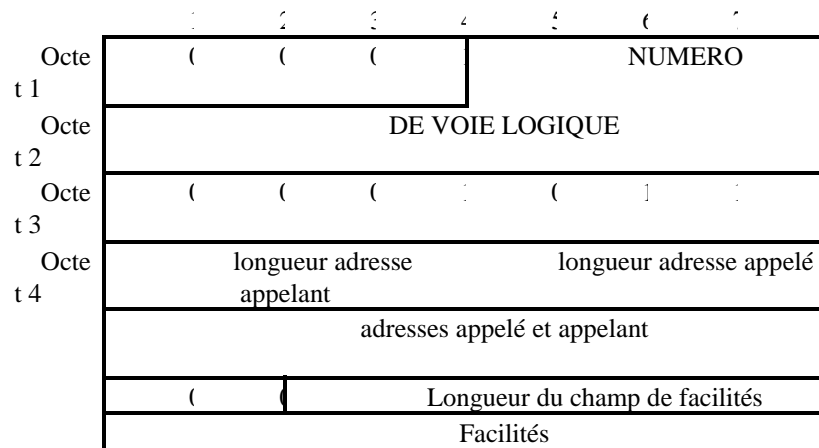
	1	2	3	4	5	6	7	8
Octet 1	(1	(NUMERO				



Format du paquet de communication acceptée



Format du paquet de libération



Format du paquet de confirmation de libération.

5.3.5 Accès asynchrone - le PAD

L'utilisateur d'un réseau X25 ne dispose pas forcément d'un système capable d'émettre et de recevoir des paquets. Il peut n'être équipé que d'un terminal asynchrone.

Le PAD est un dispositif capable de constituer des paquets à l'aide de caractères transmis en mode asynchrone (En anglais Packet Assembler Disassembler).

Le fonctionnement d'un PAD est normalisé par les avis X3, X28 et X29 (Figure 5.11).

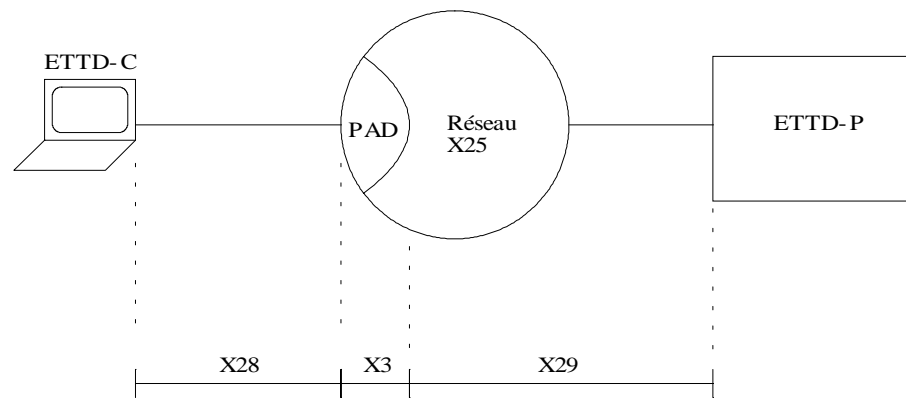


Figure 5.11 Les avis du PAD

L'avis X3 définit le fonctionnement du PAD grâce à un certain nombre de paramètres (18). L'ensemble de ces paramètres définit un profil.

Exemple de paramètre

Paramètre 1 caractère d'échappement :

- = 0 : il n'y a pas de caractère d'échappement,
- = 1 : DLE (control P) est le caractère d'échappement,
- = N : caractère de la table ASCII dont la position est N.

Paramètre 2 écho :

- = 0 : pas d'écho,
- = 1 : écho des caractères transmis par le terminal.

Paramètre 3 caractère d'envoi de données :

- = 0 : pas de caractère,
- = 2 : CR est le caractère d'envoi des données,
- = 6 : CR, ESC, BEL, ENQ, ACK,
- = 18 : CR, EOT, ETX,
- = 126 : tous les caractères de contrôle de la table ASCII ;

Paramètre 4 délai d'envoi de données :

- = 0 : pas d'envoi sur temporisateur,
- = 1 à 255 : délai en vingtièmes de secondes.

Paramètre 5 asservissement de l'ETTD par le PAD :

le PAD peut utiliser les caractères XON et XOFF pour contrôler le flux de l'ETTD.

etc...

L'avis X28 décrit l'interface entre l'ETTD et le PAD

Exemples:

Appel d'un abonné:

133007007PXXXX

LIB XXX XXX ou bien
COM

Choix d'un profil standard:

PROF X

Modification d'un paramètre:

SET X:Y

Demande de la liste des paramètres:

PAR ?

Demande de libération

LIB

LIB CONF

Indication d'appel entrant:

COM 135000123

L'avis X29 permet la commande du PAD par le réseau

5.4 TRANSPAC

TRANSPAC a été ouvert en 1978 avec 4 commutateurs. En 1990, il comptait 70000 accès directs et 210 commutateurs. En 1996 :

5.4.1 Accès au réseau

TRANSPAC distingue 2 types d'équipements. Les ETTD-C, terminaux ou ordinateurs fonctionnant en mode caractère en asynchrone, et les ETTD-P fonctionnant en mode synchrone et capables d'émettre et de recevoir des paquets.

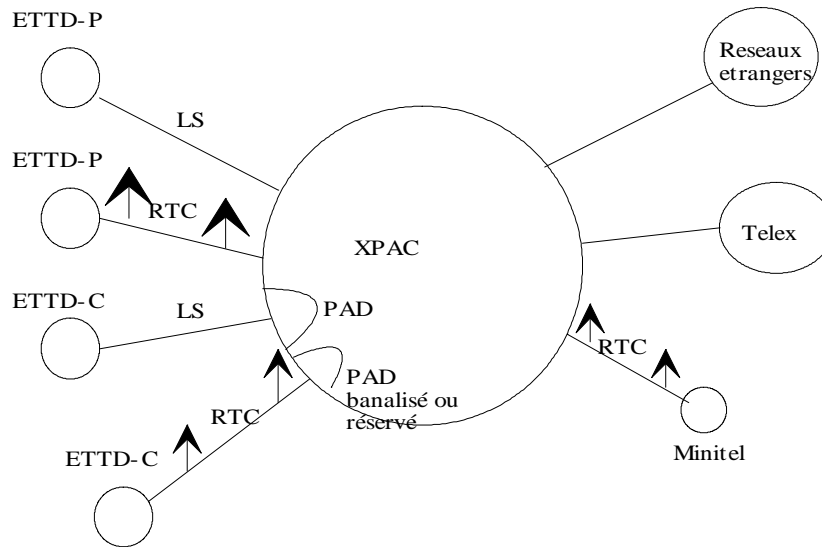


Figure 5.12 Equipements TRANSPAC

Le raccordement d'un ETTD-P s'effectue principalement par liaison spécialisée. Il permet des débits de 2400bps à 48 Kbps. Il peut également s'effectuer par le réseau téléphonique commuté (norme X32) à 2400 bps. Le numéro d'appel est le 3602.

Le raccordement d'un ETTD-C (terminal asynchrone ou télex) peut se faire :

- par liaison spécialisée (50bps à 1200 bps)
- par le RTC; il existe des accès PAD publics dont les numéros d'accès sont 3600 à 1200bps ou 3601 à 300 bps, ou bien des PAD réservés.

Un PAD effectue la mise en paquets des données reçues en asynchrone. Pour des raisons de taxation, on ne peut mettre en relation 2 usagers par le PAD public (ou entre PAD public et un abonné TELEX).

L'accès par le PAD public suppose que le destinataire accepte de prendre en charge la taxation (TAD).

-Accès par Minitel:

S'effectue par les numéros 3613, 3614, 3615, 3616, 3617, 3621 (teletel ASCII). Le PAVI (Point d'Accès Vidéotex) assure 2 fonctions:

- la constitution des paquets
- la mise en correspondance d'un nom abrégé avec un numéro d'abonné.

Les PAVI sont gérés par FRANCE-TELECOM

L'utilisation du 3613 équivaut à une taxation au demandé (TAD). Elle ne peut se faire que si l'abonnement du demandé le permet, et si celui-ci l'accepte.

-TRANSPAC est interconnecté avec le réseau TELEX, et des réseaux étrangers à commutation de paquets.

5.4.2 Format des adresses

-Format national, accès par LS :

Préfixe 1	N° Abonné 8 chiffres	N° complémentaire 0 à 2 chiffres
--------------	-------------------------	-------------------------------------

-Accès par le réseau téléphonique commuté :

Préfixe 3	N° Transpac Accès PAD
--------------	--------------------------

Préfixe 6	N° Transpac Accès PAVI
--------------	---------------------------

-Accès par le réseau TELEX :

Préfixe 2	N° d'abonné TELEX
--------------	----------------------

-Format international:

Préfixe 0	N° Réseau 4 chiffres	N° interne dans le réseau
--------------	-------------------------	------------------------------

5.4.3 Tarification

La tarification est indépendante de la distance. Elle comprend :

- une redevance d'abonnement, qui dépend des performances de l'accès choisi,
- une taxation à la durée par CV utilisé (faible),
- une taxation au volume.

5.4.4 Performances

TRANSPAC garantit un délai de transit < 200ms dans 90% des cas. Le temps d'établissement d'un circuit virtuel est < 1s.