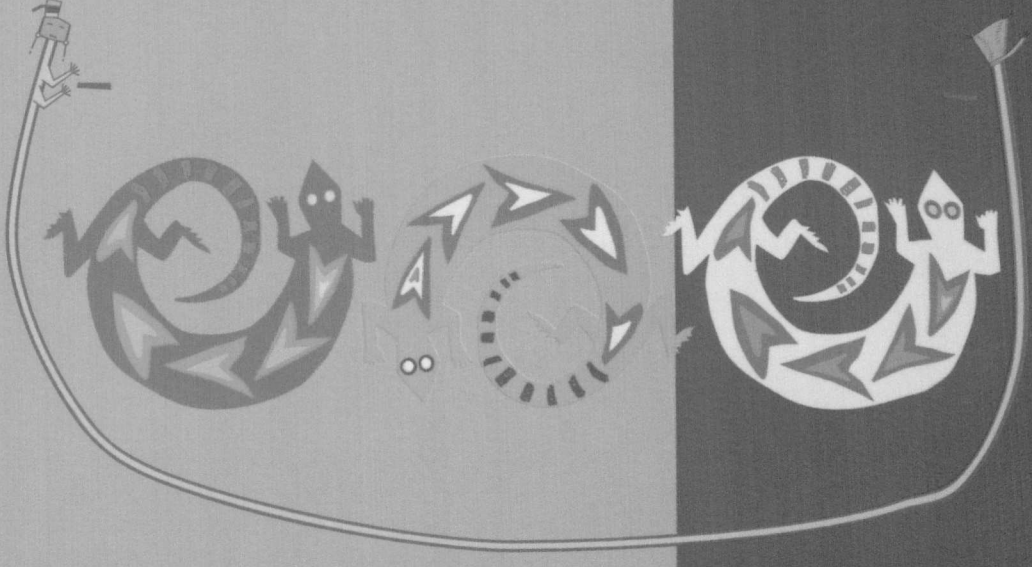
COLLECTION
SYSTEMES
DISTRIBUÉS

X.25 FACILE

N.M. Thorpe, D. Ross



MASSON

PRENTICE HALL

X.25
FACILE

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

Dans la même collection

COMMUNICATION EN MODE CLIENT / SERVEUR. Les outils du traitement réparti coopératif, par S. GHERNAOUTI-HÉLIE. Préface de B. HÉLIE. 1994, 216 pages.

INGÉNIERIE DES RÉSEAUX LOCAUX D'ENTREPRISE ET DES PABX. Conception, maîtrise, intégration, par S. GHERNAOUTI-HÉLIE et A. DUFOUR. Environ 200 pages. A paraître.

FDDI, par A. SHAH et G. RAMAKRISHNAN. Traduit de l'anglais par A. OBERLIN. 1994, 240 pages.

ATM. Mode de transfert asynchrone, par M. DE PRYCKER. Traduit de l'anglais par K. MICHEJDA. 1994, 344 pages environ.

Dans la collection MIM

X.25 : PROTOCOLES POUR LES RÉSEAUX À COMMUTATION DE PAQUETS, par R.J. DEASINGTON. Traduit de l'anglais par F. LE FAUCHEUR. 1987, 128 pages.

UNE INTRODUCTION À TCP/IP, par J. DAVIDSON. Traduit de l'anglais par Ph. BAZET et P. BOUSQUET. 1991, 88 pages.

OSI : LES NORMES DE COMMUNICATION ENTRE SYSTÈMES OUVERTS, par J. HENSHALL, S. SHAW. Traduit de l'anglais par B. RICHOUX, Ch. COULON et E. TORREITER. 1991, 272 pages.

LA COMPRESSION DES DONNÉES. MÉTHODES ET APPLICATIONS, par G. HELD. 1987,152 pages.

TÉLÉCOMS ET RÉSEAUX, par M. MAIMAN, avec la collaboration de M. CARRÉ et C. SERVIN. Préface de P. MATHELOT. 1994, 4e édition refondue et augmentée, 344 pages, 280 figures.

ORDINATEURS, INTERFACES ET RÉSEAUX DE COMMUNICATION, par S. COLLIN. 1988, 120 pages.

LES RÉSEAUX LOCAUX. Comparaison et choix, par J.S. FRITZ, Ch.F. KALDENBACH, L.M. PROGAR. Traduit de l'anglais par N. TROUT. 1988, 152 pages.

RNIS, CONCEPT ET DÉVELOPPEMENT, par J. RONAYNE. Traduit de l'anglais par X. GALLERI et N. MOREL. Préface et annexe par Ch. CHEVALEYRE. 1991, 304 pages.

Dans la collection du CNET

LES MODEMS POUR TRANSMISSION DE DONNÉES, par M. STEIN. 1991, 2e édition revue et corrigée, 384 pages.

GESTION DE RÉSEAUX. CONCEPTS ET OUTILS, par ARPEGE (Association de Rédacteurs pour la Promotion et l'Étude de la Gestion de Réseaux). Préface de L. POUZIN. Ouvrage publié avec le concours du ministère de la Recherche et de l'Espace (DIST). 1992, 272 pages.

ADMINISTRATION OSI, par D. CHOMEL et C. LECERF. 1993, 240 pages.

LE RNIS, TECHNIQUES ET ATOUTS. Réseau Numérique à Intégration de Services, par G. DICENET. Préface de J.-P. POITEVIN. 1990, 2e édition revue et augmentée, 384 pages.

Autres ouvrages

EDI, L'ÉCHANGE DE DONNÉES INFORMATISÉES, par M.A. EMMELHAINZ. Traduit de l'américain par B. FRIEDEL. 1993, 280 pages.

TÉLÉPORTS ET ZONES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS AVANCÉES. Pour un tertiaire intelligent, par M. MAFTOUL. 1993, 144 pages.

COLLECTION
SYSTÈMES
DISTRIBUÉS
COORDONNÉE PAR
S. GHERNAOUTI-HÉLIE

X.25
FACILE

N.M. Thorpe
D. Ross
Telerate

Traduit par P. Trousset
Telematics

MASSON | 1995 | PRENTICE HALL
PARIS | LONDON

Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photocopillage ».

Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 3, rue Hautefeuille, 75006 Paris. Tél. : 43 26 95 35.

Traduction autorisée de l'ouvrage publié en langue anglaise sous le titre :

X.25 Made Easy

par : Prentice-Hall International London (U.K) Ltd. 1992 publié en langue française en co-édition par Masson Paris et Prentice-Hall International London.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur, est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

© Prentice-Hall (U.K) Ltd, 1994 pour la traduction française.

ISBN : 2-225-**84628**-6

ISSN : 1254-7271

MASSON S.A.	120, bd Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06
MASSON S.p.A.	Via Statuto 2/4, 20121 Milano
MASSON S.A.	Avenida Principe de Asturias 20, 08012 Barcelona

TABLE DES MATIERES

Avant-propos ix

1 Introduction à la commutation par paquets 1

Qu'est-ce que la commutation par paquets ? 1
Les réseaux de communication 2
Le multiplexage 3
Genèse de la commutation par paquets 4
Normes internationales en matière de commutation par paquets 5
Le modèle de référence OSI 5
Auto-évaluation 7

2 Introduction au protocole X.25 9

L'accès à un réseau à commutation par paquets 11
X.25 : l'accès à un réseau à commutation de paquets 12
Historique sommaire du protocole X.25 13
La recommandation X.25 en détail 14
Les trois couches de la recommandation X.25 16
Auto-évaluation 18

3 Le niveau physique 19

Le niveau physique d'un coup d'œil 20
L'interface X.21 20
X.21bis 25
Auto-évaluation 31

4 Le niveau trame 33

Les fonctions du niveau trame 33
La procédure HDLC (*High Level data Link Control*) 34
Format du champ de commande 37
Le transfert des données 43
L'état de blocage 45
La fenêtre du niveau trame 47
La perte de trames d'information 47
Détection d'une trame hors séquence 48

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

Reprise de la transmission grâce au temporisateur T1 48
Auto-évaluation 51

5 Le niveau paquet 55

Les fonctions du niveau paquet 55
Les circuits virtuels 55
Les voies logiques 56
Attribution des voies logiques 58
Paquets et en-têtes de paquets 59
Utilisation et procédures du niveau paquet 65
L'établissement de la communication 65
La libération de la communication 72
Le transfert des données 76
Auto-évaluation 89

6 Les services complémentaires dans X.25 91

Qu'est-ce qu'un service complémentaire ? 91
La mise en œuvre des services complémentaires 92
Le codage des services complémentaires 95
Les marqueurs de services complémentaires 95
Description des services complémentaires disponibles 96
Auto-évaluation 113

7 Les autres « X » de la famille X.25 115

Les PADs : assembleurs/désassembleurs de paquets 115
Les PADs des réseaux publics 117
Pourquoi utiliser un PAD ? 118
Les standards « X » issus du CCITT et l'IA5 118
La recommandation X.3 119
La recommandation X.28 126
La recommandation X.29 129
Auto-évaluation 130

8 La conception d'un réseau 133

Qu'est-ce qu'un réseau de communication ? 133
Pourquoi déployer un réseau ? 133
L'intérêt d'un réseau à commutation par paquets 134
Introduction à la conception de réseau 137

Structures de réseaux 143
Performance d'un réseau 148
La sécurité d'un réseau 151
L'acquisition d'un réseau : les choix possibles 152
L'acquisition d'un réseau : la gestion du processus 155
L'acquisition d'un réseau : la planification du site 157
Un exemple de conception de réseau 159
Auto-évaluation 168

Annexe A
Adresses des organismes de normalisation 171

Annexe B
Le codage des champs de diagnostic dans X.25 173

Annexe C
Attribution des voies logiques 177

Glossaire 179

Index 183

AVANT-PROPOS

Le terme X.25 est sans doute l'un des plus incompris et des plus employés à tort parmi ceux de l'industrie des communications informatiques. Le problème principal lié à X.25 est le suivant : c'est un sujet qui permet d'impressionner assez facilement un auditoire non expérimenté avec quelques termes simples ; l'utilisation d'un certain nombre de mots clés bien choisis produira le même effet que lorsqu'un prestidigitateur sort un lapin blanc de son chapeau noir. D'ailleurs, l'étude du protocole X.25 peut s'avérer également très mystérieuse. Il y a peu de littérature disponible et le débutant a le choix entre étudier l'ensemble de la recommandation éditée par le CCITT (Comité consultatif international pour le télégraphe et le téléphone) dans son livre rouge ou apprendre sur le tas. Les plus chanceux suivront une formation et reviendront avec tout un tas de notes pas toujours en rapport avec la réalité du terrain.

Les auteurs ont appris ce qu'ils savent sur X.25 par la pratique et l'expérience. Nicolas M. Thorpe a pris part à la conception, à l'implémentation et à la maintenance de réseaux à commutation par paquets au niveau international ; Derek Ross s'est familiarisé avec X.25 lors de l'étude de systèmes de communications sophistiqués à usage militaire. Tous deux ont ensuite travaillé ce sujet à partir de formations et du livre rouge du CCITT. Ils ont ensuite travaillé ensemble au sein de Telerate, un des plus importants réseaux privés de la planète. C'est là qu'ils ont décidé de réunir leurs expériences et connaissances pour produire un ouvrage qui ferait disparaître le mystère qui entoure X.25. Le titre anglais *X.25 facile* résume entièrement l'intention de départ qui est de rendre facile à appréhender un sujet qui apparaît par nature et par expérience complexe ; cela a été réalisé avec un style et des exemples simples.

X.25 n'a pas la prétention d'être une bible et n'est pas considéré comme *le* document ultime sur le sujet ; c'est bien le livre rouge du CCITT qui remplit ce rôle. Malheureusement, ce dernier est d'un abord assez délicat et fait plutôt penser à une documentation administrative. *X.25* s'attache plutôt à rendre l'étude de la recommandation X.25 moins mystérieuse et la lecture du livre rouge plus compréhensive. Ce livre s'adresse à ceux qui désirent acquérir une connaissance pratique de X.25 et des normes associées. Les directeurs et responsables informatiques qui ont besoin de connaître ce sujet avant de décider un investissement trouveront le contenu d'une valeur inestimable. On leur fournira des informations qui les aideront grandement à bien comprendre les documentations parfois compliquées de certains fournisseurs

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

d'équipements réseau. Certains ingénieurs opérationnels qui doivent assimiler rapidement de nouvelles techniques apprécieront le côté concret de ce livre, spécialement le chapitre 3 qui présente l'aspect technique du protocole et le chapitre 8 qui détaille un exemple d'utilisation de X.25 pour construire un réseau sophistiqué et performant. Les services commerciaux y trouveront les informations de base pour bien comprendre le fonctionnement d'équipements qui utilisent une interface X.25. Enfin, les étudiants en informatique seront sensibles au langage clair et à l'emploi d'exemples pratiques.

L'organisation du livre

Ce livre est organisé en quatre parties principales. Les chapitres 1 et 2 sont introductifs alors que les chapitres 3, 4 et 5 explorent les trois couches de la recommandation X.25. Les chapitres 6 et 7 présentent de façon détaillée quelques aspects complémentaires de X.25 et le chapitre 8 fournit un exemple pratique d'implémentation de la recommandation sur le terrain.

Le chapitre 1 introduit les concepts de base. On présente les fondements de la commutation par paquets ainsi que les organismes qui ont joué un rôle dans l'élaboration des normes et standards utilisés aujourd'hui.

Le chapitre 2 présente plus spécifiquement X.25 et explique comment la recommandation X.25 utilise et implémente la commutation par paquets. On y définit de nombreux termes et fonctionnalités requis pour une bonne compréhension des chapitres suivants.

Le chapitre 3 détaille le niveau physique de la recommandation X.25. Le lecteur est plongé dans un vocabulaire déconcertant ; on parle ici de technologie et normes en rapport avec les câbles et les connecteurs. C'est dans ce chapitre que nous parlerons pour la première fois de performances.

Le chapitre 4 approfondit le sujet relativement complexe qu'est le niveau trame. Cette couche a la charge de garantir des communications sans erreur. Ce chapitre explique en détail le fonctionnement du protocole, les procédures d'accès et le séquencement des trames.

Le chapitre 5 présente le très important niveau paquet de la recommandation X.25. C'est un point majeur pour une bonne compréhension. C'est ce niveau qui permet l'échange des données utilisateur en s'appuyant sur les deux couches inférieures. C'est ici que nous expliquerons l'adressage, les passerelles entre réseaux ou encore les mécanismes pour établir une communication. Ce chapitre donnera un aperçu de la puissance et de la performance d'un réseau X.25 bien conçu.

Le chapitre 6 présentera en détail les différents services complémentaires disponibles avec X.25.

Le chapitre 7 décrit l'utilisation et le paramétrage des PADs (assembleurs/désassembleurs de paquets). Ce sont des équipements qui ont permis l'accès aux réseaux à commutations par paquets à des quantités de terminaux asynchrones. Ces derniers sont aujourd'hui remplacés par des micro-ordinateurs mais les PADs et les recommandations associées sont toujours en vogue.

Le chapitre 8 est relatif à la conception de réseau. On présentera des aspects liés au coût, à la performance, à la maintenance et à la sécurité. Pour finir, un exemple complet d'implémentation de réseau international à commutation par paquets sera utilisé pour illustrer le propos des chapitres précédents.

Remerciements

Nous aimerions tous les deux remercier nos familles pour leur patience pendant les nombreux week-ends et soirées passés à travailler sur ce livre. L'enthousiasme et l'intérêt porté par Sally Huxtable et Robert Mauduit nous ont permis de démarrer ce livre dans de bonnes conditions. Nous voudrions également remercier Colin Davies de Telerate et Malcolm Harris qui nous ont apporté aide et assistance sur certains aspects techniques liés à la conception et à l'implémentation de réseaux.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION A LA COMMUTATION PAR PAQUETS

Ce premier chapitre présente les concepts de base de la commutation par paquets et le suivant le protocole X.25. Grâce à ces deux premiers chapitres, on devrait éliminer le flou et parfois le mystère qui entourent ces deux notions. Les concepts de base de la commutation par paquets sont vraiment simples à assimiler. Il est d'autant plus étonnant de constater que les expressions « X.25 » et « commutation par paquets » font partie des termes les plus confus et galvaudés, voire incompris, dans le milieu des télécommunications.

Qu'est-ce que la commutation par paquets ?

Contrairement à une idée communément répandue, les expressions « commutation par paquets » et « X.25 » représentent deux notions bien distinctes. Le concept de commutation par paquets est antérieur à X.25. Il se rapporte à une technique sophistiquée utilisée dans le domaine des télécommunications entre équipements informatiques, mais ses applications débordent ce cadre et s'appliquent à d'autres secteurs comme la transmission de la voie par exemple. Dans le cadre de cet ouvrage, nous nous intéresserons uniquement à l'aspect communications informatiques, c'est à dire aux « transmissions de données » entre ordinateurs. Pour envoyer un long message (qui peut être constitué d'une page d'un livre par exemple), les techniques de transmission de données classiques émettent les informations dans un flux continu entre les deux équipements informatiques.

Avec la commutation par paquets, les données à transmettre sont regroupées en blocs appelés *paquets*. La figure 1.1 illustre ce mécanisme où chaque paquet est constitué pour l'exemple précédent d'une ligne de texte. En pratique, la taille des paquets est fixe pendant une communication et dépend d'un paramètre modifiable par les utilisateurs.

En fait, un paquet peut être comparé à un container utilisé pour le transport des marchandises et bien connu de tout le monde. Ces containers sont construits selon un modèle normalisé et sont donc envoyés dans le monde entier avec une ou deux étiquettes indiquant leur contenu. La commutation par paquets peut être représentée comme la mise en container de données informatiques ; un paquet sera alors transmis d'un ordinateur à un autre aussi facilement qu'un container voyage d'un continent à un autre, pourvu que le réseau soit conçu pour.

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

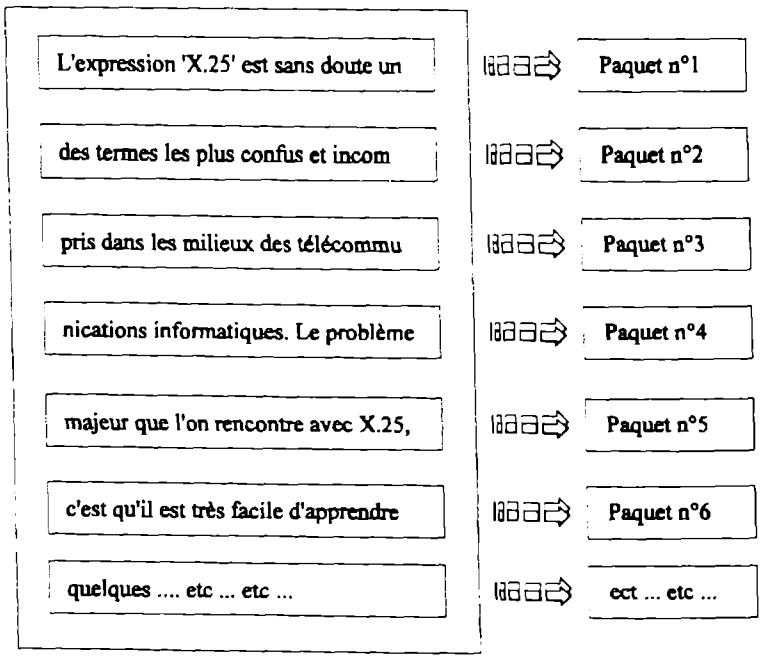


***Figure 1.1** - Avant d'être transmises, les données sont regroupées en paquets. Dans cet exemple, chaque ligne de la page a donné lieu à la création d'un paquet.*

Il est intéressant de remarquer que l'Organisation internationale de normalisation (ISO = International Standards Organisation), à l'origine de la norme des containers de fret cités plus haut, a également joué un rôle important dans l'élaboration de la norme sur les réseaux à commutation de paquets.

Les réseaux de communication

On distingue deux types de réseaux de communication. Le premier utilise la technique de commutation par paquets pour transmettre des blocs de données entre deux correspondants. Chaque correspondant peut être un ordinateur, un terminal, une imprimante ou tout autre type d'équipement informatique. Le second type de réseau est basé sur la technique de commutation de circuit. Un exemple classique d'un tel réseau est celui du téléphone ; on parle d'ailleurs du réseau téléphonique commuté (RTC) avec lequel un des utilisateurs initie un appel et maintient avec son correspondant distant une liaison de transmission pendant la durée de cet appel.

La différence majeure entre ces deux types de réseaux est la suivante : dans le premier cas, on peut utiliser n'importe quel chemin dans le réseau pour effectuer la transmission et ces chemins peuvent être partagés entre plusieurs communications. Dans le second cas, la liaison est établie sur un chemin dédié pendant toute la durée de la

communication. La technique de partage d'une liaison de transmission est appelée *multiplexage* et l'expérience montre que c'est une notion parfois mal saisie par les novices en télécommunications.

Le multiplexage

Le principal avantage de mettre les données sous forme de paquets est que ces paquets, qui proviennent de sources différentes, peuvent partager une même ligne de communication. La figure 1.2 présente trois terminaux qui envoient trois messages différents à trois autres terminaux en utilisant une ligne unique. On utilise souvent le terme savant de *multiplexage temporel* pour définir ce principe de partage d'une même ligne de transmission.

Supposons par exemple que trois opérateurs soient chargés d'envoyer les messages à partir des trois terminaux émetteurs. Ils ne tapent pas au clavier de façon continue ; ils doivent parfois interrompre leur saisie pour consulter un document ou pour effectuer toute autre tâche. Ces périodes de repos permettent aux autres terminaux d'utiliser la ligne ainsi libérée. Ce mécanisme est parfait dans le cas d'école de réseaux simples où le terminal A envoie toujours ses informations au terminal AA. Dès que ce système devient plus complet, il faut utiliser une forme d'adressage pour chaque paquet pour s'assurer qu'il atteint la bonne destination.

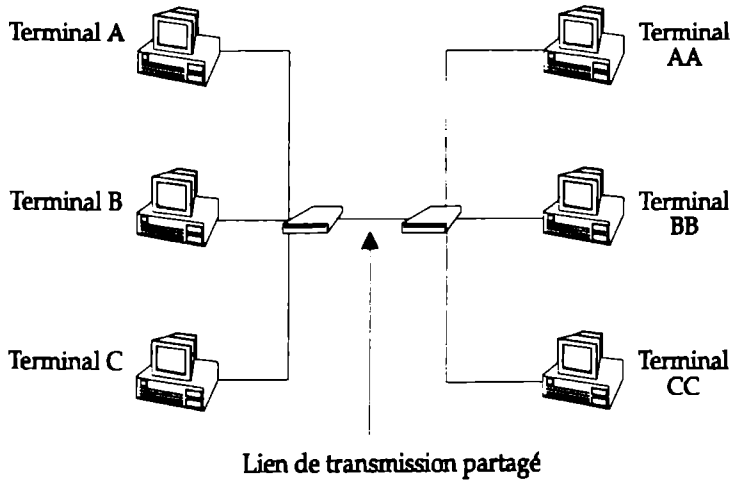


***Figure 1.2** - Le concept de base du multiplexage : une seule ligne de transmission est partagée par six terminaux .*

Genèse de la commutation par paquets

Trois secteurs d'activité ont permis le développement de la commutation par paquets. On peut citer en premier lieu les sociétés

spécialisées dans le « time-sharing », apparues à la fin des années soixante, qui permettaient aux utilisateurs de partager la puissance et les ressources de grands systèmes informatiques. Deux des réseaux les plus connus qui se sont développés à cette occasion sont Tymshare (qui devint plus tard Tymnet) et General Electric Information Services (aussi appelé GEISCO). Tymnet est aujourd'hui un des plus grands réseaux à commutation de paquets.

Dans un second temps, un progrès notoire fut accompli lorsque les grands constructeurs de matériels informatiques décidèrent de produire des équipements dédiés aux télécommunications. Le but était de soulager les sites centraux de toute la gestion des communications en la déportant dans des processeurs périphériques spécialisés. Par la suite, de nombreux grands constructeurs introduisirent dans leurs systèmes une architecture de communications structurée en couches afin de supporter des périphériques de plus en plus variés. Un exemple marquant dans ce domaine fut l'avènement de l'architecture réseau d'IBM (SNA = System Network Architecture) au début des années soixante-dix. D'autres architectures de communication structurées en couches suivirent telles que DSA de BULL, DNA de DEC, BNA de ex-BURROUGHS.

L'augmentation rapide du nombre de ces architectures réseaux propriétaires poussa l'ISO à développer plusieurs projets de normalisation dans ce domaine. Les propositions de l'ISO et leur influence sur la commutation par paquets seront abordées à la fin de ce chapitre[1].

Parallèlement, des projets menés aux Etats-Unis par un organisme de recherche du département de la défense (l'ARPA = Advanced Research Projects Agency est une branche du DOD = Department Of Defense) aboutirent au déploiement d'un réseau de communication appelé ARPANET. Ce projet se déroula de la fin des années soixante jusqu'au milieu des années soixante-dix. Il consistait à interconnecter de nombreux ordinateurs centraux utilisés dans des domaines différents pour former un réseau à l'échelle des Etats-Unis. Les utilisateurs pouvaient alors bénéficier des applications ainsi disponibles depuis l'ensemble du territoire américain.

Le terme *paquet* fut inventé par les équipes de l'ARPA pour marquer la différence entre les longs messages qui sont traités au niveau des applications et les blocs de données effectivement véhiculés sur les réseaux et obtenus après découpage de ces messages. Des termes tels que «commutateur de paquets» viennent de cette expression.

ARPANET utilisait une architecture structurée en couche et les recherches dans ce domaine permirent le développement de réseaux similaires dans le monde entier. Parmi ceux-ci, on citera TRANSPAC en France, DATAPAC au Canada, DATEX-P en Allemagne, TELENET aux Etats-Unis [2]...

---

[1] M.SCHWARTZ, *Telecommunications networks : Protocols, modeling and analysis*, ADDISON-WESLEY, Reading, Massachusetts, Etats-Unis, 1987

[2] M.SCHWARTZ, *Computer Communication Network Design and Analysis*, PRENTICE-HALL, Englewood Cliffs, New Jersey, Etats-Unis, 1987

Normes internationales en matière de commutation par paquets

De la même façon que l'utilisation de containers pour transporter du fret sous-entend l'adhésion à un standard international, le bon fonctionnement d'un réseau à commutation par paquets nécessite une normalisation des télécommunications. Dans ce domaine, on parle souvent de protocoles réseaux ou de protocoles de transmission normalisés.

Un protocole de transmission est un agrément sur le format, le contenu et la gestion des données échangées entre deux équipements téléinformatiques. Un protocole fournit une interface normalisée qui permet des communications hétérogènes ; des ordinateurs de constructeurs différents peuvent alors dialoguer entre eux. Cette normalisation profite aux utilisateurs qui ne sont plus captifs d'un fournisseur ou d'un système informatique.

Le modèle de référence OSI

En 1978, l'ISO forma un sous-comité (le SC 16) chargé de définir un ensemble de normes qui permettraient à des équipements informatiques de constructeurs différents de communiquer entre eux. Il devenait possible d'envisager un réseau multi-constructeurs, dès lors que chacun respectait un ensemble de protocoles normalisés. Le modèle de référence pour l'interconnexion des systèmes ouverts fut définitivement adopté en 1983. Il est aussi appelé *modèle OSI* (OSI = Open systems interconnection) ou encore modèle à sept couches et est représenté par la figure 1.3. On a utilisé le mot « modèle » car il s'agit en effet d'une modélisation d'une architecture réseau en couches.

Les quatre niveaux supérieurs du modèle OSI fournissent des services à l'utilisateur alors que les trois niveaux inférieurs sont plus étroitement liés au réseau. Chaque couche est un lien de communication pour ses couches adjacentes.

Le rôle de chaque couche est le suivant :

1. **La couche physique**. La couche physique prend en charge le transfert des informations binaires sur le support physique (la ligne). Elle fournit en outre un contrôle de flux de base.

2. **La couche liaison de données**. Ce niveau assure l'intégrité des données lors de l'acheminement des blocs d'information sur la ligne par la couche physique. Cette dernière est plutôt prédisposée à commettre des erreurs qu'il faut corriger pendant la transmission. Les blocs de données véhiculés à ce niveau sont souvent appelés *trames*.

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

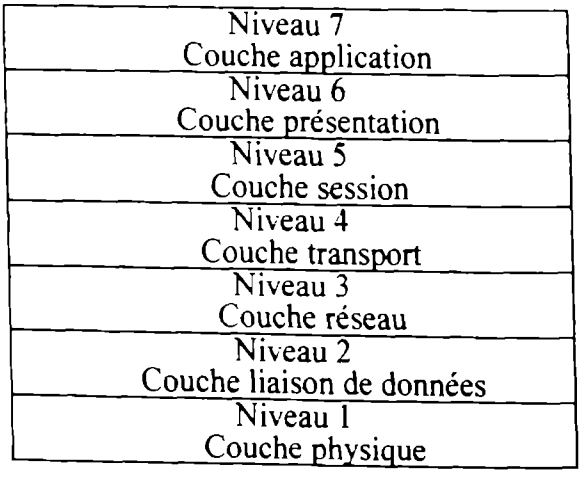


***Figure 1.3** - Le modèle de référence OSI.*

3. **La couche réseau**. Le niveau réseau réalise l'acheminement (ou encore le routage) des données dans le(s) réseau(x) traversé(s). Il offre une fonction de multiplexage et exerce un contrôle de flux dans le réseau.

4. **La couche transport**. La couche transport est la couche la plus élevée de la partie service de transport. Elle permet d'établir une connexion entre deux points du réseau de façon transparente pour les utilisateurs distants. Elle fournit aussi des mécanismes de contrôle de flux.

5. **La couche session**. Une session entre deux utilisateurs nécessite des fonctions de supervision pendant les phases de connexion, dialogue et déconnexion. C'est le rôle de la couche session qui assure également la synchronisation du dialogue de bout en bout.

6. **La couche présentation**. Ce niveau offre des services de traduction entre les données de transfert et celles du niveau applicatif. C'est à ce niveau que l'on met en œuvre les mécanismes de conversion de jeux de caractères pour traduire par exemple un message codé en EBCDIC vers le code ASCII. On pourra utiliser ici des algorithmes de compression, de chiffrement.

7. **La couche application**. La couche application fournit une interface entre un utilisateur et les niveaux inférieurs du modèle OSI. On y trouvera des programmes d'application spécifiques et des produits normalisés par d'autres entités de l'OSI tels que des services de messagerie électronique (X400) ou de transferts de fichiers (FTAM).

Le CCITT recommande l'utilisation des trois premiers niveaux du modèle OSI pour l'élaboration des recommandations X.25 qui normalisent l'accès à un réseau de données à commutation de paquets.

Auto-évaluation

1. Qui a utilisé en premier le terme « paquet » et de quoi est-il dérivé ?
2. Quelle organisation internationale est à l'initiative de la normalisation pour la commutation par paquets ?
3. Donner deux types de réseaux utilisant la commutation.
4. Quel est le principal avantage du multiplexage ?
5. Qui a utilisé en premier le terme « paquet » dans le milieu des réseaux de données ?
6. Donner trois exemples de réseaux de communication structurés en couches.
7. Quels sont les trois niveaux de la recommandation X.25 ?
8. Nommer les sept couches du modèle OSI.
9. La recommandation X.25 du CCITT est relative aux réseaux à commutations de paquets. Vrai ou faux ?
10. Définir le terme « protocole de transmission ».

CHAPITRE 2

INTRODUCTION AU PROTOCOLE X.25

Le premier chapitre nous a présenté les concepts de base de la commutation par paquets. Nous avons alors assimilé le mécanisme de commutation par paquets à la mise en container des données informatiques à transmettre dans un réseau. Ces paquets de données sont le reflet exact des containers utilisés pour le transport de fret. En fait, un paquet de données est tout simplement un bloc de données. S'il faut transmettre une page de texte, un paquet sera généralement équivalent à une ligne de ce texte. De cette façon, une page de vingt lignes serait alors émise en vingt paquets.

X.25 est un ensemble de recommandations qui permettent l'accès à un réseau de commutation par paquets. Mais avant d'étudier X.25, il nous faut approfondir d'avantage l'étude des réseaux à commutation par paquets. En réalité, n'importe quel réseau de communication qui gère et transporte des données sous forme de paquets est un réseau à commutation par paquets. Les paquets transitent dans chaque *nœud* du réseau le long d'un chemin de communication ; on rencontre souvent l'expression anglo-saxonne *store and forward* pour décrire ce mécanisme. Chaque paquet partage une zone de stockage et un lien de communication avec les autres paquets.

Un exemple classique de réseau à commutation par paquets est présenté avec la figure 2.1 ci-dessous. Dans ce schéma, le nuage central représente le réseau à commutation par paquets, les pyramides sont les utilisateurs et les carrés les *points d'accès* au réseau. Un utilisateur du réseau peut être n'importe quel périphérique capable de traiter les informations sous forme de paquets, comme un micro-ordinateur par exemple.

Le nuage est constitué de commutateurs de paquets qui permettent le routage des paquets de données à travers le réseau jusqu'à leur destinataire. Un commutateur de paquet est en général un équipement informatique de taille proportionnelle aux performances souhaitées et exprimées en nombre de paquets routés à la seconde ; cette taille varie entre celle d'un micro-ordinateur et celle d'un mainframe (grand ordinateur central). Ces commutateurs sont appelés *nœuds* du réseau.

Indépendamment de sa taille, chaque noeud est équipé d'une certaine quantité de mémoire dédiée au stockage temporaire des paquets devant être transmis au noeud suivant dans le réseau. C'est là que les paquets transitent avant d'être émis par le dispositif de routage du commutateur de paquets.

Le réseau est représenté par un nuage car un utilisateur n'est généralement pas au fait de la méthode utilisée pour réaliser le routage des paquets dans ce réseau. Si l'utilisateur A envoie des données à D, les paquets peuvent emprunter de façon automatique et indifférente les chemins 1-3-4, 1-2-4 ou encore 1-4. L'utilisateur n'a aucune visibilité du routage effectué.

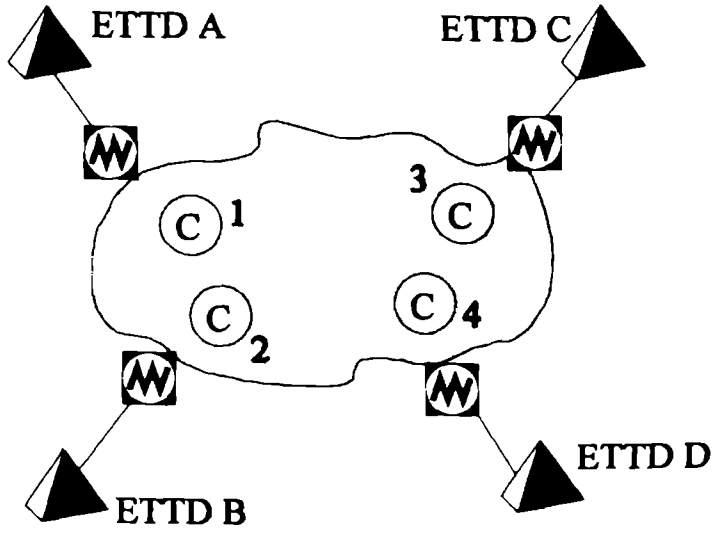


***Figure 2.1** - Représentation schématique d'un réseau à commutation par paquets. Le nuage représente le réseau, les pyramides sont les utilisateurs du réseau et les carrés sont les points d'accès au réseau. Les cercles à l'intérieur du nuage représentent les commutateurs de paquets.*

Le routage effectivement suivi dépend de la configuration du réseau et de ses artères principales et de son utilisation à cet instant. Pour l'instant, nous ne sommes pas concernés par cela ; le chapitre 8 nous permettra cependant d'approfondir ce sujet. Le choix du chemin lors d'un routage est automatique et est transparent pour l'utilisateur.

Nous pouvons prolonger la comparaison entre la commutation par paquets et le transport des containers de fret en assimilant ce réseau sous forme de nuage à une entreprise de transport international que nous appellerons « TRANSCIEL ». Supposons que cette société possède deux dépôts aux Etats-Unis et deux en Europe.

Dans la figure 2.2, le réseau de transport TRANSCIEL a été retenu par quatre entreprises, dont deux américaines (Kennedy & Jacobs), une française (Cramont) et une anglaise (Jones). Si Jones veut envoyer des marchandises à Jacobs, elle utilisera pour cela un container et le fera parvenir chargé au dépôt TRANSCIEL le plus proche (Southampton dans le cas présent). Il sera alors envoyé à Jacobs par le moyen le plus rapide et le plus pratique du moment. L'enlèvement des marchandises par Jacobs se fera à l'entrepôt TRANSCIEL le plus proche de son usine (New York dans ce cas).

Jones ne s'intéresse pas au chemin suivi par le container. C'est le travail de l'opérateur TRANSCIEL. Le réseau est ici aussi représenté par un nuage car il est transparent pour l'utilisateur.

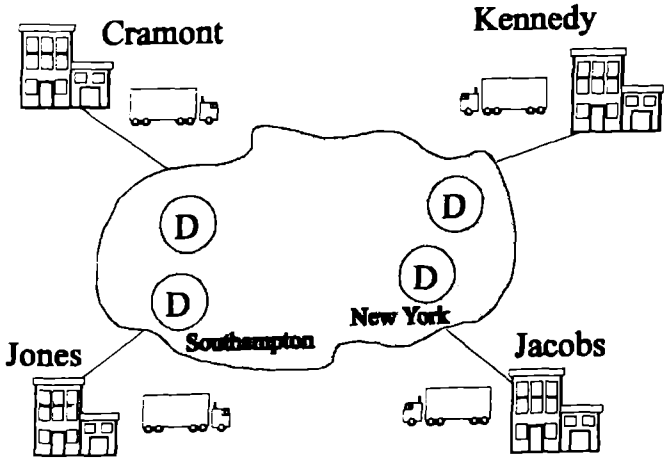


Figure 2.2 - Parallélisme entre un réseau de transport international et un réseau à commutation par paquets.

L'accès à un réseau à commutation par paquets

Dans le cas du transport des marchandises, on doit suivre quelques règles avant d'envoyer un container dans le réseau. On pourrait les appeler les « protocoles d'accès au réseau ». L'expédition et le transport des marchandises sont une industrie avec ses règles propres et il est impossible d'utiliser de tels services en ignorant leur normalisation. Pour envoyer un container, il faudra fournir un certain nombre d'informations telles que :

1. Nom et adresse de l'expéditeur.
2. Nom et adresse du destinataire.
3. Description du contenu.
4. Type de contenu (marchandises liquides, chimiques, sèches).
5. Bordereau d'inventaire.
6. Numéro de séquence et nombre total de containers à envoyer.

Les containers sont généralement expédiés scellés et ouverts une fois arrivés à destination. Leurs contenus sont donc invisibles du transporteur et de son réseau, bien que les informations protocolaires ci-dessus soient disponibles à tout moment pour contrôle.

L'acheminement sans dommage des containers jusqu'aux entrepôts est à la charge des utilisateurs. Une fois dans le réseau, cette responsabilité incombe alors à la société de transport. Dans notre exemple c'est TRANSCIEL.

X.25 : l'accès à un réseau à commutation de paquets

De même qu'il existe des protocoles dans le domaine du transport par container, il y a des règles qui régissent la transmission de données au travers d'un réseau à commutation par paquets. Puisque nous avons décidé de représenter ce type de réseau par un nuage, nous nous intéresserons seulement aux protocoles d'accès. Ces protocoles sont décrits dans des recommandations approuvées au niveau international et appelées X.25. La figure 2.3 présente un nuage maintenant familier et quatre utilisateurs reliés à quatre point d'accès (rappelez vous que nous n'avons aucune idée du fonctionnement interne de ce nuage puisqu'il est généralement invisible pour l'usager).

La recommandation X.25 concerne la connexion d'ordinateurs, de terminaux informatiques ou d'autres types d'utilisateurs au sens large à un réseau à commutation par paquets. On a l'habitude d'appeler un tel utilisateur un *équipement terminal de traitement de données* et on utilisera par la suite l'abréviation ETTD. Vous rencontrerez fréquemment l'expression anglaise équivalente : *data terminal equipment* (DTE). Chaque ETTD accède au réseau grâce à un *équipement de terminaison de circuit de données* noté ensuite ETCD (DCE en anglais). Pour éviter de confondre ces deux termes assez proches, rappelez-vous que le « C » de ETCD (ou DCE) indique une fonction de Communication alors que le « T » de ETTD (ou DTE) signifie Terminal. On peut noter que la distinction est plus aisée avec les termes anglo-saxons qu'avec leurs homologues français. On se rappellera que l'ETTD réalise des fonctions de traitements de l'information alors que l'ETCD permet l'échange de ces informations sur le lien de communication.

En résumé : les ETCD permettent aux ETTD utilisateurs d'accéder à un réseau à commutation par paquets. X.25 *recommande* le protocole à utiliser pour la transmission des données sous forme de paquets entre un ETTD et un ETCD. Il faut bien se souvenir que X.25 est une recommandation sur une interface à un réseau et en aucun cas sur le fonctionnement interne de ce réseau. Le chapitre 8 traitera de ce sujet.

***Figure 2.3** - Un réseau à commutation par paquets possède en périphérie des terminaux (ETTD) et des points d'accès (ETCD). Sa structure interne est à base de commutateurs de paquets.*

Historique sommaire du protocole X.25

Nous avons évoqué la croissance importante des besoins de communication informatique pendant les années soixante lors du chapitre 1. Au cours de cette période apparut la nécessité d'élaborer un protocole commun pour permettre aux utilisateurs d'accéder à ces nouveaux réseaux avec des interfaces standards. Plusieurs organisations de normalisation engagèrent alors des travaux, tant au niveau local qu'international. En 1972, le CCITT (le Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone) crée un groupe de travail chargé de définir des standards pour les réseaux publics de transmission de données. Seulement quatre ans plus tard (ce qui constitue un véritable record !), le CCITT adoptait la recommandation X.25 sous le titre ronflant : *Interface entre équipement terminal de traitement de données et équipement de terminaison de circuit de données pour terminaux fonctionnant en mode paquet raccordés à un réseau public de transmission de données.*

Une révision de l'avis X.25 en 1980 correspond au lancement de nombreuses implémentations de ce protocole. Parmi celles-ci, on peut citer de nombreux réseaux publics nationaux, tels que PSS en Grande-Bretagne ou TRANSPAC en France, se sont basés sur cette révision. Des améliorations supplémentaires furent apportées à X.25 en 1984 ; elles permirent d'éliminer quelques anomalies de la version de 1980 et apportèrent de nouvelles facilités pour les utilisateurs. Ce livre est basé sur la recommandation X.25 de 1984. Nous vous conseillons d'acquérir un exemplaire de l'avis X.25 qui constitue un complément aux informations que vous trouverez dans cet ouvrage. Les adresses utiles sont données en annexe A.

La recommandation X.25 en détail

Nous avons présenté le modèle de référence OSI dans le chapitre précédent. C'est une architecture de communication structurée en sept couches. Bien que X.25 ait été normalisé avant le développement du modèle OSI, il y eut une étroite coopération entre le CCITT et l'OSI pour assurer la compatibilité entre les trois couches basses de l'avis X.25 avec les niveaux équivalents du modèle OSI (voir figure 2.4 page suivante).

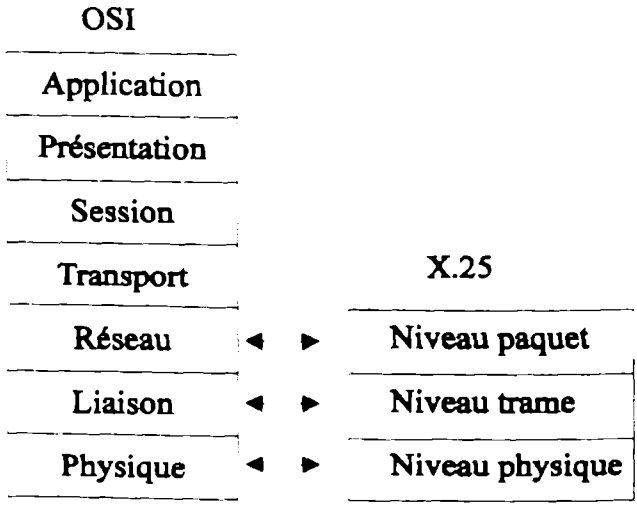


Figure 2.4 *- Les trois niveaux inférieurs de l'avis X.25 sont équivalents aux trois premières couches du modèle OSI.*

S'il nous était possible de pénétrer dans ce réseau en forme de nuage, nous pourrions rencontrer la situation décrite par la figure 2.5 où un ETTD est en communication de façon simultanée avec deux autres ETTD. Ces trois utilisateurs du réseau peuvent se trouver sur n'importe quel point du globe sans que la distance qui les sépare ait une importance.

Circuits virtuels

Dans le langage X.25, les deux connexions de la figure 2.5 s'appellent *circuits virtuels*. Ils constituent le fondement de la recommandation X.25 telle qu'elle est définie aujourd'hui. La notion de circuit virtuel est parfois confuse ; c'est pourquoi nous allons maintenant la détailler.

Un circuit virtuel donne l'impression à un ETTD qu'il est en communication privée avec un autre ETTD sans partage possible du lien qui les unit. En fait, il partage ce lien de transmission avec d'autres. Grâce à l'utilisation de protocoles sophistiqués, X.25 permet d'établir

jusqu'à 4 096 circuits virtuels sur n'importe quelle ligne de communication. En d'autres termes, chaque fois que l'expression « interface X.25 » figure sur le graphique 2.5 suivant, il peut y avoir jusqu'à 4 096 circuits virtuels ou encore 4 096 connexions entre un ETTD (un terminal par exemple) et un ETCD. En pratique, ce nombre est très inférieur à cette valeur limite.

Circuits virtuels commutés et permanents

Un circuit virtuel est souvent appelé circuit virtuel *commuté* (CVC) par opposition à une recommandation similaire appelée circuit virtuel *permanent* (CVP).

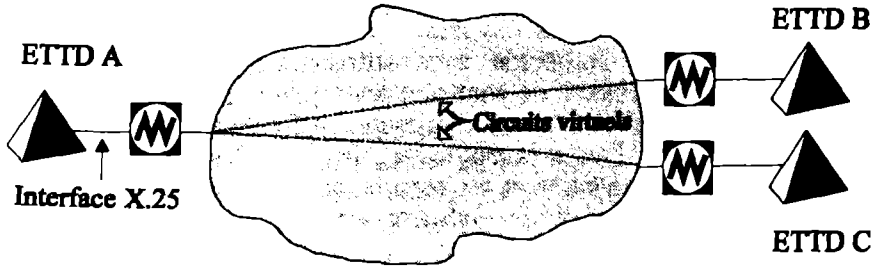


***Figure 2.5** - Circuits virtuels: l'ETTD A a établi un circuit virtuel avec les ETTD B et C. Chaque interface X.25 permet en théorie l'établissement de 4 096 circuits virtuels.*

Lors du fonctionnement en CVC, un appel est réalisé d'un ETTD vers l'autre. Une fois la connexion réalisée avec succès, le transfert des paquets de données peut commencer. Lorsque la transmission est terminée, la connexion est rompue de façon ordonnée. Un CVP exige une connexion permanente de deux ETTD par un circuit virtuel toujours maintenu ; cela garantit une connexion toujours disponible.

L'utilisation de CVC et CVP est similaire à celle que permettent les réseaux téléphoniques avec lesquels on peut réaliser des connexions temporaires avec le réseau commuté, ou permanentes grâce aux lignes louées. La technique du circuit virtuel commuté est identique à celle qui consiste à utiliser son téléphone pour entrer en communication avec un abonné dont on a composé le numéro. La connexion dure pendant la durée de l'appel. A l'inverse, le CVP est apparenté aux lignes louées qui maintiennent deux liaisons téléphoniques connectées en permanence.

La comparaison entre CVC et CVP est aisée : les CVP sont plus rapides puisqu'il n'y a pas de délai dû à la phase de connexion (pour l'exemple du réseau téléphonique commuté, cette phase de connexion comprend le temps nécessaire pour composer le numéro de téléphone et pour être en ligne avec le correspondant). Les CVP sont plus onéreux puisque les deux utilisateurs sont connectés en permanence. Ceci est

particulièrement vrai si on utilise un réseau public. Dans un réseau privé, les CVP constituent une surcharge importante.

Les datagrammes et la sélection rapide

Deux autres services faisaient partie des recommandations initiales du CCITT. C'était les datagrammes et la sélection rapide. Les datagrammes furent abandonnés par la version X.25 de 1984 car les fournisseurs d'équipements réseau et les utilisateurs n'y ont pas trouvé d'intérêt. La sélection rapide est toujours utilisée et sera étudiée dans la suite de ce livre.

Le datagramme est un service d'acheminement des paquets indépendamment les uns des autres. Chaque paquet est envoyé sur le réseau de façon autonome avec suffisamment d'informations (une adresse et des éléments de contrôle) pour qu'il atteigne son destinataire. Les datagrammes utilisent des routes différentes et n'arrivent pas forcément dans l'ordre avec lequel ils ont étés émis. Il faut que l'équipement récepteur soit en mesure de reconstituer correctement le message en remettant les paquets dans l'ordre.

L'abandon des datagrammes n'est pas surprenant car il nécessite des ressources non négligeables. Cependant, on peut noter que le fonctionnement interne de nombreux réseaux à commutation de paquets utilisent la technique du datagramme. Un bon exemple est donné par le réseau Canadien DATAPAC qui propose une interface X.25 mais qui utilise en interne les datagrammes.

Les trois couches de la recommandation X.25

La recommandation X.25 fournit une interface en mode paquet efficace pour accéder à un réseau à commutation par paquets. Il faut bien avoir à l'esprit que l'avis X.25 s'applique à l'interface et non au fonctionnement interne d'un réseau à commutation de paquets (rappelez–vous la figure 2.3).

Sur une unique ligne de communication reliant un ETTD et un ETCD, l'utilisateur peut établir de façon simultanée plusieurs circuits virtuels. Le contrôle de cette interface repose sur les trois couches de la recommandation X.25 qui sont décrites en figure 2.4. On les appelle niveau physique, niveau trame et niveau paquet.

Même si ces notions ont déjà été présentées, certains d'entre vous sont peut-être déroutés par cette structuration en couches et par les fonctions attribuées à chaque niveau. Aussi allons-nous reprendre le parallélisme avec la mise en container que nous avons utilisée lors du chapitre 1.

Les niveaux d'une architecture réseau structurée en couches travaillent de la même façon que peut le faire notre société imaginaire TRANSCIEL.

De telles entreprises sont généralement « structurées ». Cela signifie que chaque niveau de la structure, que ce soit le bureau du Président ou le local du courrier, est un maillon vital de cet organisme. Le président, assis dans son bureau du 31e étage du siège social, ne se préoccupe pas des tâches quotidiennes à réaliser pour la bonne marche de sa société. Il délègue ces fonctions à des collaborateurs.

L'entité fonctionne efficacement grâce à de nombreux services qui, à leur niveau, réalisent les fonctions et tâches qui leur incombent.

Voici une description succinte du rôle de chaque couche avant de passer à une étude plus détaillée lors des chapitres suivants :

Le niveau physique

C'est le niveau le plus bas et le plus fondamental de l'avis X.25. Il définit le protocole physique entre un ETTD et un ETCD. Les recommandations de ce niveau incluent les voltages et les signaux utilisés, la taille et le type de connecteurs ainsi que les différentes prises de ces connecteurs. Ce niveau fait l'objet d'une étude complète dans le chapitre 3.

Le niveau trame

La fonction principale du niveau trame est le transport sans erreurs et de façon efficace des données sur la liaison physique.

Les données émises par les utilisateurs sont chargées dans des paquets par le niveau paquet avant d'arriver à ce niveau. Les paquets sont alors enveloppés par des informations de contrôle et envoyés sous la forme d'un bloc appelé *trame*.

On appelle cette couche le niveau trame ou encore le niveau liaison.

Le niveau paquet

Ce troisième niveau correspond à la couche réseau du modèle OSI. La tâche première du niveau paquet est de gérer les circuits virtuels établis entre l'ETTD et l'ETCD.

Cette fonction est plus complexe qu'il n'y paraît et les protocoles mis en œuvre sont plutôt sophistiqués. De plus, certains termes sont utilisés indifféremment dans le niveau paquet et dans le niveau trame ; cela nuit souvent à la bonne compréhension des fonctions réalisées par cette couche.

Pour éviter toute difficulté, nous conseillons au lecteur de maîtriser parfaitement les protocoles du niveau trame exposés dans le chapitre 4 avant de passer à l'étude du chapitre 5 traitant du niveau paquet.

Auto-évaluation

1. Définir le terme « X.25 ».
2. Illustrer une possibilité de représentation graphique d'un réseau à commutation par paquets.
3. Quels termes emploie-t-on pour distinguer les équipements propres à l'utilisateur de ceux propres au réseau ? Donner les abréviations françaises puis anglo-saxonnes associées à ces deux termes.
4. Donner le nom de l'organisation internationale à l'origine de la recommandation X.25.
5. Définir l'expression « circuit virtuel ».
6. Quel est le nombre maximum théorique de circuits supportés par une liaison de type X.25 ?
7. Que veut dire l'abréviation « CVC » ?
8. Décrire les fonctions des trois couches de l'avis X.25.

CHAPITRE 3

LE NIVEAU PHYSIQUE

Le niveau physique est la couche inférieure de l'avis X.25. Il définit l'interface physique entre un ETTD (un terminal par exemple) et un ETCD (un modem) comme le montre la figure 3.1. Les recommandations de la couche physique incluent les tensions et signaux utilisés, la taille et le type de connecteur et les broches à connecter[1].

A bien des égards, ce niveau n'est pas toujours bien clair. Dans la recommandation X.25 de 1984, seulement une page et demi est consacrée à ce sujet sur un total de 134 pages[2]. Une information trop succincte conduit souvent à une incompréhension ou à des ambiguïtés et ce sujet n'échappe pas à cette règle. Pendant nos recherches, nous avons été surpris de rencontrer autant d'idées fausses et d'hypothèses erronées sur ce thème. Nous avons essayé de travailler à partir de ces quelques misérables informations disponibles pour former un guide qui prétend être instructif, pratique et, nous l'espérons, utile pour les lecteurs. Les recommandations X.25 ont été spécifiées pour normaliser l'accès aux réseaux publics de transmissions de données (tels que le réseau public à commutation de paquets français TRANSPAC). Ceci n'empêche pas d'utiliser ces recommandations dans le domaine des réseaux privés.

Une interface physique permet la connexion d'un ETTD à un ETCD, mais c'est aussi une collection de quatre spécifications que l'on peut décrire de la façon suivante :

1. Spécifications fonctionnelles - Fonctions des broches du connecteur.
2. Spécifications protocolaires - La mise en œuvre des contrôles.
3. Spécifications électriques - Tensions, courants, vitesse.
4. Spécifications mécaniques - Type de connecteur physique.

Le niveau physique de l'avis X.25 (ou encore niveau 1) est, sur le plan de l'architecture réseau, l'équivalent du niveau physique du modèle de référence OSI de l'ISO présenté au premier chapitre[3].

---

[1] On trouvera des informations complémentaires sur ce sujet complexe en pages 52 à 115 de l'ouvrage de A.S. TANENBAUM, *Computer Networks*, Prentice Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey, Etats-Unis, 1989.

[2] Recommandation X.25 du CCITT de 1984.

[3] Voir Chapitre 1, p 5.

A ce niveau, on définit les conditions nécessaires qu'il faut respecter entre l'ETTD et l'ETCD selon des critères fonctionnels, protocolaires, mécaniques et électriques.

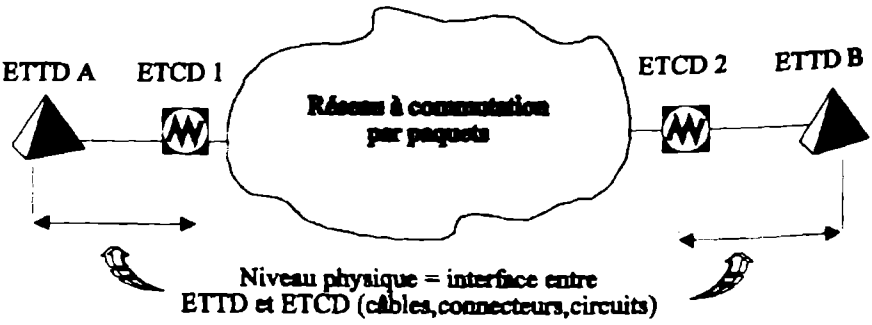


Figure 3.1 - *Le niveau physique de l'avis X.25 définit l'interface physique entre l'ETTD (le Terminal) et l'ETCD (le modem).*

Pour ce niveau physique, X.25 a recommandé l'utilisation d'un autre avis du CCITT appelé *X.21*. Il fut complété à l'origine par l'avis *X.21bis*, prévu pour être utilisé de façon provisoire[1] sur des réseaux simples. En fait, X.21bis est identique à l'interface RS-232 de l'EIA. Il est primordial de noter que X.21 est une interface numérique alors que X.21bis est une interface analogique. Grâce à X.21bis, les utilisateurs avaient du temps pour remplacer leurs équipements de communication et faire évoluer leur configuration réseau analogique existante vers un réseau numérique. Sous la pression du marché, le CCITT fit de X.21bis une recommandation permanente en 1984. Cela était dû en partie au grand nombre d'équipements compatibles avec RS-232 déjà installés.

Le niveau physique d'un coup d'oeil

Le tableau 3.1 suivant présente les différentes normes associées aux recommandations X.21 et X.21bis. On utilisera par exemple une interface RS-232 avec un connecteur à 25 broches pour des vitesses inférieures à 9 600 bits/s[2]. Il faut savoir que l'utilisateur est dépendant du type d'interfaces proposées par les fournisseurs d'équipements réseau et que l'interface V.28 (ou encore RS-232) est la plus répandue, surtout aux Etats-Unis.

L'interface X.21

On peut définir X.21 comme la recommandation permettant l'interface numérique entre un ETTD et un ETCD pour fonctionnement *synchrone*[3] dans un réseau public de transmission de données.

---

[1] EIA est l'abréviation utilisée pour l'organisme américain Electronics Industries Association.

[2] L'abréviation «bits/s» signifie bits par seconde et mesure la vitesse de transmission.

[3] Voir le glossaire pour une autre explication de ces termes

En fait, peu de ces réseaux publics supportent X.21. Il était prévu de l'utiliser dans les nouvelles générations de réseaux numériques qui sont mis lentement en place par les administrations des postes et télécommunications du monde entier. Au moment de la parution de cet ouvrage, l'implémentation de X.21 est très peu développée.

Tableau 3.1- Les différents choix possibles pour le protocole au niveau physique de l'avis X.25. Ce tableau permet au lecteur d'établir la relation entre la vitesse de transmission et la recommandation CCITT associée parmi la grande variété de possibilités offertes par le niveau physique dans X.25.

	X.21		X.21bis	
Débit (en bits/s)	≤ 19 200	> 19 200	≤ 19 200	> 19 200
Interface électrique	X.26 (RS-423) X.27 (RS-422)	X.27 (RS-422)	V.28 (RS-232) X.26 (RS-423)	V.35 X.27 (RS-422)
Interface mécanique	4903 15 broches	4903 15 broches	2110 25 broches 4902 37 broches	2593 34 broches 4902 37 broches

Le connecteur recommandé avec X.21 possède 15 broches et est conforme à la norme ISO 4903[1]. On peut trouver les spécifications électriques dans les recommandations X.26 et X.27 du CCITT. Ces recommandations sont aussi référencées au CCITT respectivement par V.10 pour les transmissions jusqu'à 9 600 bits/s et V.11 pour celles qui dépassent cette vitesse (voir figure 3.2).

Les circuits de l'interface X.21

Le tableau 3.2 dresse la liste des signaux fournis par l'interface X.21. Les descriptions suivantes de chaque signal proviennent de la recommandation X.25 du CCITT et de l'ouvrage de R.J.Deasington[2].

LE SIGNAL DE TERRE (SIGNAL GROUND)

Ce circuit fournit un signal de référence qui permet de mesurer les états logiques des autres circuits. Si cela est toléré par l'administration des PTT concernée, il peut être connecté à la masse. Lorsqu'on utilise un câble blindé ou écranté, le blindage peut être connecté à ce signal de terre, ce qui permet de réduire les interférences.

---

1 Standard ISO-4903 de l'Organisation Internationale de Standardisation.

2 Reproduit avec l'autorisation de R.J.Deasington, *X.25 explained*, Ellis Horwood, Londres, 1985

TERRE DE SIGNALISATION OU RETOUR COMMUN (GA)

Il est utilisé dans des configurations asymétriques (X.26) et fournit dans ce cas un signal de terre de référence dans l'interface avec l'ETTD.

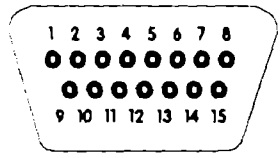


Figure 3.2 - Le connecteur ISO-4903 recommandé pour X.21.

Tableau 3.2 - Les circuits utilisés dans une interface X.21.

Référence	Circuit	Direction ETCD	Direction ETTD
G	Signal de terre	-	
Ga	Retour commun	-	
T	Transmission	⇦	
R	Réception		⇨
C	Contrôle	⇦	
I	Indication		⇨
S	Horloge bit		⇨
B	Horloge octet		⇨

TRANSMISSION (T)

Les signaux de transport des données de l'ETTD vers l'ETCD utilisent ce circuit. Ces données sont transfert d'informations ou sont utilisées pour l'établissement de la communication.

RECEPTION (R)

Ce circuit est identique au précédent, mais il est utilisé dans le sens inverse pour l'émission de données de l'ETCD vers le terminal (ETTD).

CONTROLE (C)

Ce circuit est toujours à l'état « ON » pendant la phase de transfert de données d'une connexion. Il permet à l'ETTD d'indiquer son état qui peut être actif ou au repos en positionnant le circuit (C) à « ON » ou « OFF ». L'ETCD connaît ainsi le type d'action mené par l'ETTD lorsqu'il envoie des données sur le circuit (T).

INDICATION (I)

Le circuit (I) permet à l'ETCD d'indiquer à l'ETTD le type de données émises sur le circuit (R). L'indication est toujours à « ON » pendant la phase de transfert de données et vaut « ON » ou « OFF » pendant la phase d'établissement de la communication.

HORLOGE BIT (S)

Cette horloge bit fournit à l'ETTD une synchronisation constante par l'envoi d'une forme d'onde ou de signaux d'horloge de façon continue.

HORLOGE OCTET

Ce circuit est utilisé pour synchroniser l'émission de chaque octet de données. Il est à « ON » la plupart du temps mais passe à « OFF » dès que l'horloge bit permet d'identifier le dernier bit d'un octet.

L'interface X.21 est entièrement décrite par les circuits T, C, R et I. L'état de repos (ou état stable) normal est « prêt » avec le circuit contrôle (C) à « ON » et l'indication (I) à « ON ». L'interface obéit ensuite aux différentes combinaisons possibles pour les signaux (C) et (T). Les implémentations habituelles utilisent au maximum six circuits d'échange actifs entre l'ETTD et l'ETCD.

En fonction de la phase de communication, les circuits de transmission (T) et de réception (R) transportent les données de l'utilisateur ou des informations de contrôle sur le réseau. Le circuit de contrôle (C) est utilisé avec le circuit de transmission (T) et indique qu'un appel est en cours. Le circuit indication (I) est à « ON » si les informations présentes sur le circuit de réception (R) sont des données utilisateur et à l'état « OFF » pour signaler que le circuit (T) transmet des informations de contrôle.

Dans le cas de l'utilisation de X.21 avec l'avis X.25, les circuits de contrôle (C) et d'indication (I) sont constamment à l'état « ON » car l'établissement de la communication est réalisé par la couche réseau.

La synchronisation est généralement fournie par l'ETCD grâce au circuit de l'horloge bit. L'horloge octet est optionnelle ; elle permet la synchronisation au niveau caractère par l'émission d'un signal d'horloge à chaque frontière de huit bits (un octet).

Utilisation de X.21

Afin d'expliquer les fonctions de l'interface X.21, nous utiliserons le tableau 3.3 qui présente un parallèle entre l'utilisation d'un téléphone classique et celle des circuits de l'interface X.21. Ce tableau 3.3 et le texte associé sont tirés de l'ouvrage de Tanenbaum et sont reproduits

sans modification car ils présentent de façon concise et claire le fonctionnement de X.21.

Tableau 3.3 - Exemple d'utilisation de X.21.

Etape	Circuit (C)	Circuit (T)	Analogie avec l'utilisation du téléphone	L'ETTD emet sur (T)	L'ETCD émet sur (R)
0	OFF	OFF	La ligne est au repos	T = 1	R = 1
1	ON	OFF	L'ETTD decroche son téléphone	T = 0	
2	ON	OFF	L'ETCD donne la tonalite		R = "+++ .+"
3	ON	OFF	L'ETTD compose le numero	T = adresse	
4	ON	OFF	Le telephone distant sonne		R = appel en cours
5	ON	ON	On répond sur ce telephone		R = 1
6	ON	ON	Phase de conversation	T = donnees	R = données
7	OFF	ON	L'ETTD dit «au revoir»	T = 0	
8	OFF	OFF	L'ETCD dit «au revoir»		R = 0
9	OFF	OFF	L'ETCD raccroche		R = 1
10	OFF	OFF	L'ETTD raccroche	T = 1	

Source : A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989

Lorsque la ligne de communication est au repos (c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas d'appel sur cette ligne), tous les signaux sont à 1. Pour spécifier les états des circuits (C) et (I), nous suivrons la convention du CCITT et dirons que 1 est l'état OFF et que 0 correspond à l'état ON. Lorsque l'ETTD désire initialiser un appel, il positionne le circuit (T) à 0 et (C) à ON, ce qui correspond à l'action que l'on effectue lorsque l'on décroche le combiné du téléphone pour appeler un correspondant. Lorsque l'ETCD est prêt à accepter un appel, il démarre l'émission du caractère ASCII «+» sur le circuit (R), ce qui a pour effet de signaler par une tonalité que l'ETTD peut commencer à numéroter. L'ETTD « compose » alors son numéro en envoyant l'adresse de l'ETTD distant sous la forme d'un chaîne de caractères ASCII émise bit par bit sur son circuit (T). A ce moment, l'ETCD émet des signaux de service pour informer l'ETTD sur l'état d'avancement de l'établissement de la communication. Ces signaux de service, définis par la recommandation X.96 du CCITT, sont constitués de nombres à deux chiffres ; le premier indique le résultat de la communication de façon générale et le second apporte une information plus détaillée. Par exemple, le résultat principal donné par le premier chiffre peut signifier que l'appel est effectué correctement, le numéro est occupé et il faut rappeler plus tard, l'appel a échoué et il y a peu de chances qu'il aboutisse, l'ETTD distant est hors service ou incompatible, le réseau est temporairement saturé, le réseau est saturé jusqu'à nouvel ordre. Si l'appel est accepté, l'ETCD positionne le signal (I) à « ON » pour indiquer que le transfert de données peut débuter.

A ce moment, une connexion numérique en duplex intégral est établie et chaque correspondant peut émettre ses informations. Chaque

ETTD peut terminer la conversation en mettant le circuit (C) à l'état « OFF » ; l'ETCD à l'origine de l'appel positionne alors (R) à 1. Pour finir, l'ETTD positionne (T) à 1 pour acquitter l'opération et l'interface est à nouveau à l'état repos, en attente d'un nouvel appel.

Le traitement des appels entrants est identique à celui des appels sortants. Si on détecte deux appels entrant et sortant simultanés, il y a collision et l'appel entrant est ignoré au profit de l'appel sortant. Le CCITT a choisi cette option car dans de nombreux cas, l'ETTD n'a plus la possibilité d'allouer les ressources nécessaires au traitement de l'appel entrant car déjà attribuées à la communication sortante.

X.21bis

Plutôt que d'utiliser le suffixe « bis », on aurait pu choisir l'appellation X.21 version 2 ou encore X.21 révision 2. Le CCITT a préféré X.21bis pour bien marquer le caractère provisoire de cette interface destinée à être remplacée par X.21 dès que les équipements existants le permettraient. Sous la pression du marché, le CCITT a accepté d'entériner X.21bis comme recommandation permanente en 1984. Cela est dû essentiellement au très grand nombre d'équipements munis des interfaces de la série Vxx et déjà connectés aux réseaux de transmission. Au moment où paraît ce livre, X.21bis est la recommandation la plus utilisée.

X.21bis offre un choix de quatre interfaces possibles en matière de raccordement à un réseau public. Comme le montre le tableau 3.1, on peut utiliser V.28 (RS-232) ou X.26 (RS-423) avec l'habituel connecteur DB25 ISO-2110 de la figure 3.3 pour les débits allant jusqu'à 9 600 bits/s (voire 19 200 bits/s). On choisira plutôt V.35 ou X.27 (RS-422) avec un connecteur de type ISO-2593 (le connecteur à 34 broches de la figure 3.4) pour atteindre des débits plus importants tels que 48 kbits/s.

RS-232

RS-232-C est la troisième version de la norme RS-232 d'origine. Elle est issue des travaux d'une association d'industriels américains de l'électronique, l'EIA. On devrait d'ailleurs utiliser la référence EIA RS-232-C pour désigner correctement cette interface. Il faut noter que c'est une norme pour les Etats-Unis. La norme internationale est la recommandation V.24 du CCITT qui est pratiquement identique à RS-232-C.

RS-232-C convient aussi bien aux communications synchrones qu'aux communications asynchrones avec toutes sortes de classes de service, sur des liaisons point-à-point ou multipoints, sur des lignes à deux ou quatre fils, avec des lignes louées ou dans le cadre de réseaux commutés.

Sur le plan mécanique, X.21bis s'appuie sur le connecteur à 25 broches bien connu et référencé par la norme ISO-2110 et souvent

désigné par connecteur de type D (voir figure 3.3). Sur le plan électrique, RS-232 est asymétrique (*i.e.* tous les signaux partagent une même signal de terre). Une tension inférieure à -3 volts est considérée comme un élément binaire à 1, alors qu'un tension supérieure à +3 volts est associée à un 0 binaire comme l'illustre la figure 3.5[1] .

On peut atteindre des vitesses de l'ordre de 19.200 bits/s et la longueur du câble ne peut pas excéder 15 mètres. Ces deux contraintes de vitesse et de distance constituent des inconvénients majeurs pour RS-232-C et c'est pour cette raison que la norme RS-449 a été développée. RS-449 est présentée dans le paragraphe suivant.

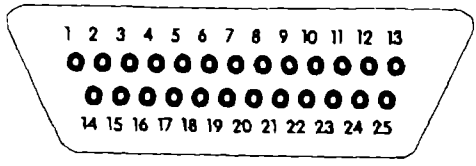


Figure 3.3 - *Le connecteur ISO-2110 à 25 broches associé à la norme RS-232.*

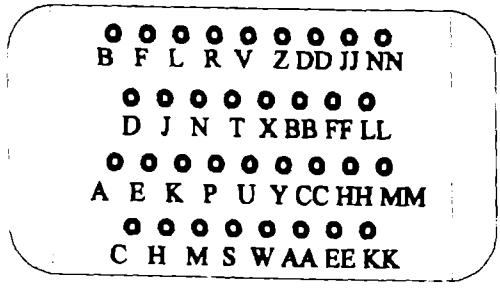


Figure 3.4 - *Le connecteur ISO-2593 à 34 broches utilisé avec X.21 à 48 Kbits/s.*

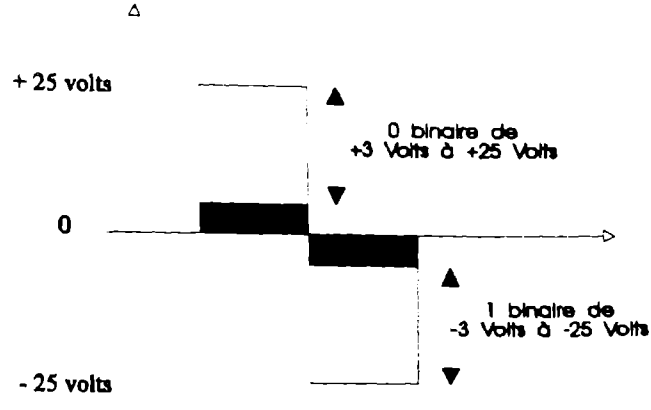


Figure 3.5 - *Caractéristiques électriques de RS-232.*

[1] L'état 1 est appelé *mark* en anglais et le 0 correspond à *space*. On rencontre ces deux termes fréquemment en télécommunications

La norme RS-232-C définit vingt circuits d'échange (en comptant le signal de terre) bien que neuf seulement soient généralement utilisés. Ces signaux sont répartis en quatre groupes : données, contrôle, synchronisation et terre.

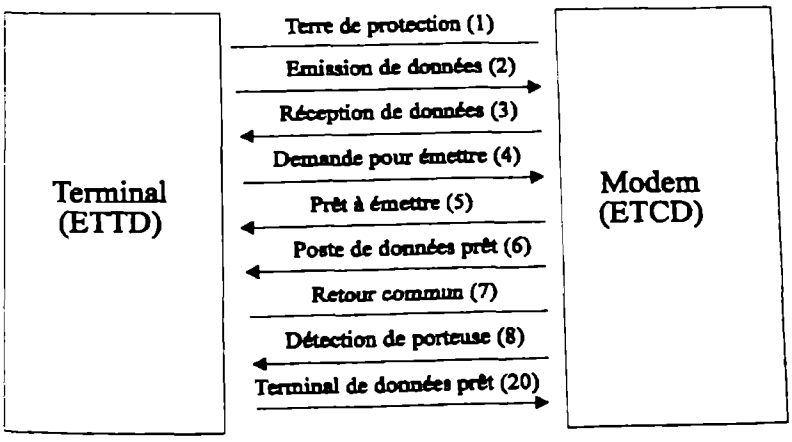


Figure 3.6 - Les neuf circuits généralement utilisés avec RS-232-C.

Tableau 3.4 - Les circuits utilisés dans une interface RS-232.

	Broche	Interface	Circuit CCITT	Description du circuit	Direction ETCD ETTD
Terre	1	AA	101	Terre de protection	
	7	AB	102	Terre de signalisation	
Données	2	BA	103	Emission de données	⇦
	3	BB	104	Réception de données	⇨
Contrôle	4	CA	105	Demande pour émettre	⇦
	5	CB	106	Prêt à émettre	⇨
	6	CC	107	Poste de données prêt	⇨
	20	CD	108.2	Terminal de données prêt	⇦
	22	CE	125	Indicateur d'appel	⇨
	8	CF	109	Détection de porteuse	⇨
	21	CG	110	Détecteur de qualité	⇨
	23	CH	111	Sélecteur de débit ETTD	⇦
	18	CI	112	Sélecteur de débit ETCD	⇨
Synchronisation	24	DA	113	Horloge émission ETTD	⇦
	15	DB	114	Horloge émission ETCD	⇨
	17	DD	115	Horloge réception	⇨
	14	SBA	118	Emission de données/retour	⇦
	16	SBB	119	Réception de données/retour	⇨
	19	SCA	120	Signaux de ligne/retour	⇦
	13	SCB	121	Voie de retour prête	⇨
	12	SCF	122	Détecteur signal/retour	⇨

Le tableau 3.4 présente les vingt signaux spécifiés avec RS-232-C et la figure 3.6 montre les neuf signaux effectivement utilisés.

RS-449

RS-232 est une interface très largement diffusée et énormément utilisée. Elle présente cependant deux inconvénients majeurs qui peuvent s'avérer rédhibitoires dans certains cas. En général, on ne peut espérer dépasser ni le débit de 19 200 bits/s, ni une distance de câble de 15 mètres. L'EIA a pris conscience de la nécessité d'améliorer ces performances. L'alternative a consisté soit à utiliser un nouveau standard sans tenir compte de l'existant, soit à en créer un compatible avec le précédent. Dans le premier cas, la solution était à la pointe du progrès mais incompatible avec RS-232-C. En définitive, un compromis a été trouvé.

La nouvelle norme RS-449 en regroupe en fait trois différentes. On y décrit les aspects mécaniques, fonctionnels et procéduraux de l'interface alors que la norme électrique est donnée par deux autres standards : RS-423-A et RS-422-A.

RS-423-A fonctionne de façon asymétrique comme RS-232-C. Pour cette raison, RS-423-A convient seulement à des transmissions à débit inférieur à 20 Kbits/s. RS-422-A utilise un mode de transmission symétrique (chaque circuit principal nécessite deux fils sans partage de la terre). Ceci permet à RS-422-A de fonctionner à des vitesses allant jusqu'à 20 Mbits/s sur des distances d'au plus 60 mètres. Des débits plus importants sont possibles si on réduit cette distance.

La figure 3.7 présente un connecteur ISO-4902 pour RS-449 et le tableau 3.5 donne une comparaison entre les circuits utilisés par RS-232-C, V.24, RS-449. Le connecteur ISO-2110 à 25 broches a été abandonné au profit du connecteur ISO-4902 à 37 broches et le connecteur à 9 broches est utilisé sur Macintosh et Atari par exemple.

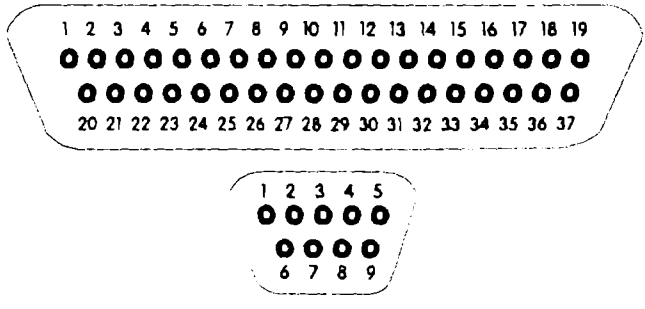


***Figure 3.7** - Les connecteurs ISO-4902 à 37 et 9 broches.*

Les circuits d'échange sont répartis en deux groupes. La première compte les dix circuits suivants :

1. Emission de données.
2. Réception de données.
3. Synchronisation du terminal.
4. Synchronisation émission.
5. Synchronisation réception.
6. Demande pour émettre.
7 Prêt à émettre.
8. Destinataire prêt.
9. Terminal prêt.
10. Mode données.

Les circuits de cette catégorie peuvent être utilisés en mode symétrique (RS-422) ou asymétrique (RS-423) pour des transmissions allant jusqu'à 20 Kbits/s. Au-dessus, seul le mode symétrique est possible.

Comme c'est le cas pour RS-232, on définit pour RS-449 trente circuits répartis en quatre groupes ou classes qui sont : terre, données, contrôle et synchronisation. Parmi ces trentes circuits, dix sont nouveaux par rapport à RS-232. Ce sont :

1. Emission commune (SC) est connectée à la terre de l'ETTD comme référence pour l'ETCD en mode asymétrique.
2. Réception commune (RC) est connectée à la terre de l'ETCD comme référence pour l'ETTD en mode asymétrique.
3. Terminal en service (TS) indique la disponibilité de l'ETTD.
4. Nouveau signal (NS) est utilisé en mode polling multipoint.
5. Sélection de fréquence (SF) permet le choix des bandes de fréquence d'émission et de réception de l'ETCD.
6. Boucle locale (LL) permet de réaliser des tests en boucle sur le modem local.
7. Boucle distante (RL) permet de réaliser des tests en boucle sur le modem distant.
8. Mode test (TM) indique que l'ETCD est en test.
9. Sélection de réserve (SS) permet le choix d'un canal de secours.
10. Indicateur d'attente (SI) permet à l'ETCD d'indiquer qu'il est en état de repos.

EIA-RS-422 (Compatible avec X.27 et V.11)

L'interface électrique EIA RS-422 a été conçue pour atteindre des performances bien supérieures à RS-232-C, tout en restant compatible

avec cette dernière. RS-422 est totalement compatible avec les équivalents CCITT X.27 et V.11.

RS-422 est une interface en différentiel de tension équilibrée (chaque circuit utilise deux fils sans terre partagée). De tels circuits sont moins sensibles aux perturbations électriques. RS-422 diminue les contraintes en matière de distance et et de débit. On peut atteindre 100 Kbits/s sur 1 200 mètres sur des paires torsadées de câbles téléphoniques. Sur des distances de l'ordre de 12 mètres, on peut réaliser des transmissions à 10 Mbits/s. Ces caractéristiques permettent de connecter des équipements dans un même bâtiment sans investissements importants. On peut encore augmenter le débit global grâce à des terminaisons de câble chargées à 100 ohms.

Les niveaux de signalisation de RS-422 sont parfaitement adaptés aux niveaux ±5 volts qu'utilisent un grand nombre de composants de l'informatique. La figure 3.8 illustre ce point.

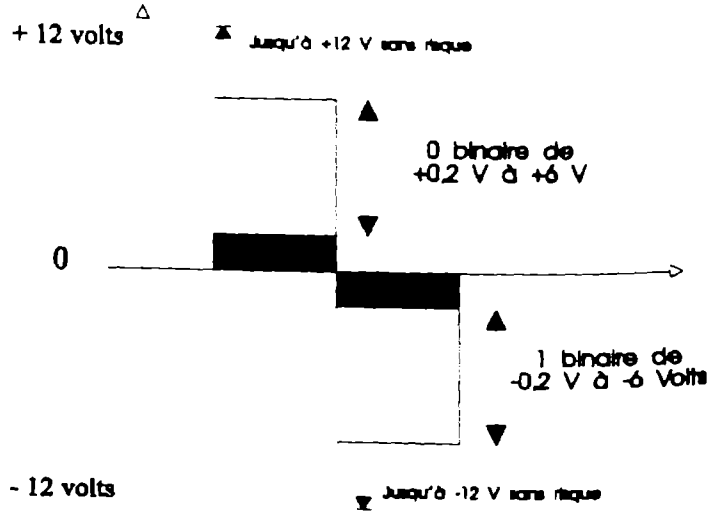


Figure 3.8 *- Les niveaux de signalisation de RS-422. Le signal est compris entre -12 V à +12 V sans aucun dommage. Le 0 binaire est représenté par un niveau compris entre -0,2 V et -6 V et le 1 binaire entre -0,2 V et -6 V.*

EIA-RS-423 (Compatible avec X.26 et V.10)

L'interface électrique RS-423 est une norme de l'EIA conçue pour améliorer les performances de RS-232. Elle fait partie de la famille RS-449. Les équivalents CCITT sont X.26 et V.10 et tous trois sont parfaitement compatibles.

RS-423 est une interface en mode différentiel de tension non-équilibrée. Un retour commun est utilisé dans chaque direction, ce qui permet d'améliorer sensiblement les performances en garantissant une meilleure résistance aux bruits parasites.

RS-423 fonctionne sur câble de calibre 24 en paire torsadée sur des distances allant jusqu'à 1200 mètres avec débit de 1200 bits/s. Ce débit

peut être ramené à 60 Kbits/s sur une distance de 17 mètres. La vitesses maximum possible sur cette interface est de l'ordre de 300 Kbits/s. Les niveaux des signaux est identique à ceux de RS-422 (voir figure 3.5).

V.35

V.35 est la recommandation du CCITT pour des transmissions à débits relativement élevés (pouvant aller jusqu'à 64 Kbits/s). Les caractéristiques électriques de cette interface sont très utilisées pour les liaisons ETTD/ETCD à grande vitesse.

L'interface électrique V.35 combine les modes équilibrés et non-équilibrés. Les circuits de données et d'horloge sont générés de façon symétrique. Ils ne sont pas compatibles avec les signaux de RS-422. Les signaux de contrôle sont asymétriques et compatibles avec RS-232.

Tableau 3.5 Les circuits utilisés dans V.35.

Broche	Fonction	Equivalent RS-232	Equivalent CCITT
A	Terre de protection	AA	101
B	Terre de signalisation	AB	102
C	Demande pour émettre	CA	105
D	Prêt à émettre	CB	106
E	Poste de données prêt	CC	107
F	Détection de porteuse	CF	109
R, T	Réception de données	BB	104
V, X	Horloge réception	DD	115
P, S	Emission de données	BA	103
Y, a	Horloge emission	DB	114
m	Reservé pour les tests	-	-

V.35 utilise un connecteur à 34 broches défini par la norme ISO-2593 (voir tableau 3.6). Les fonctions des circuits d'échange sont identiques à celles de RS-232.

Auto-évaluation

1. Décrire les fonctions du niveau physique.
2. Quelle est la différence entre X.21 et X.21bis ?
3. Préciser les différences majeures entre RS-422 et RS-423.
4. La broche 7 d'une interface de type RS-232 est la terre de signalisation. Vrai ou faux ?

5. Quelle est la fonction des signaux de contrôle (C) et d'indication (I) de l'interface X.21 ?

6. Quelle est la longueur maximum du câble sur une interface RS-232 transférant à la vitesse de 20 000 bits/s. ?

7. Nommer les quatre groupes utilisées pour définir les circuits de l'interface RS-232.

8. Expliquer la différence entre le mode symétrique et asymétrique et préciser une interface normalisée dans chaque cas.

CHAPITRE 4

LE NIVEAU TRAME

Le niveau trame est la seconde couche parmi les trois niveaux qui composent la recommandation X.25. Vous avez sans doute toujours à l'esprit, depuis l'introduction présentée au chapitre 2, que les trois couches de la recommandation X.25 sont liées aux trois niveaux inférieurs du modèle OSI.

Les fonctions du niveau trame

Le niveau trame de l'avis X.25 a quatre fonctions bien distinctes :

1. Il permet de transférer efficacement les données sur la ligne.
2. Il réalise la synchronisation entre l'ETTD et l'ETCD.
3. Il détecte les erreurs de transmission et tente de les corriger.
4. Il fournit au niveau paquet des informations sur l'état de la ligne.

En résumé, la fonction principale du niveau trame est de transporter les données sur la ligne en respectant des contraintes de synchronisation du dialogue, de contrôle de flux et d'intégrité des données. Les données utilisateur sont chargées dans des *paquets* au niveau supérieur (le niveau paquet) avant d'être transmises par le niveau trame.

Les paquets augmentés de quelques informations de contrôle sont enveloppés dans une structure appelée *trame* et transmis sur la ligne sous forme d'un bloc continu d'informations binaires. C'est pour cela que cette couche est appelée *niveau trame* ; on rencontrera parfois le terme niveau liaison mais nous préférerons l'expression « niveau trame ». Ce véritable encadrement des paquets est régi par une procédure de ligne orientée bit normalisée par le CCITT et appelée procédure HDLC (High level data link control). Pour être complet, on peut citer à titre indicatif une procédure orientée caractère parfois rencontrée sur d'anciennes configurations ; elle est appelée « bisync » (de binaire synchrone) mais est supportée par très peu de réseaux. Elle est pratiquement remplacée par HDLC dans tous les cas. Nous n'en parlerons donc pas plus dans le cadre de ce livre. Par contre, vous rencontrerez certaines variantes de HDLC sur certaines architectures propriétaires : SDLC sur les gammes IBM, BDLC sur celles d'UNISYS (sur les systèmes provenant de BURROUGHS).

La procédure HDLC (*High Level data Link Control*)

La figure 4.1 décrit les six composants d'une trame HDLC.

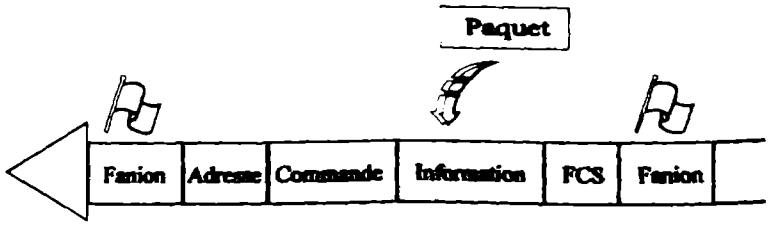


Figure 4.1 *- Les champs d'une trame HDLC : fanion, champ d'adresse, de commande, d'information et séquence de contrôle de trame (FCS) et fanion de fin de trame.*

Le fanion

Toutes les trames possèdent un *fanion* pour délimiter le début et la fin de la trame. Un fanion est la suite de huit bits suivante : 01111110. On rappelle que huit bits constituent un ensemble appelé *octet*. Le fanion est représenté en figure 4.2.

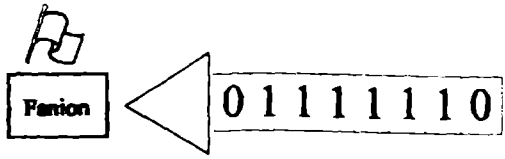


Figure 4.2 *- Le fanion de la trame HDLC est constitué d'une suite fixée de huit bits : [01111110].*

Si plusieurs trames sont transmises de façon continue, la fin de l'une peut être utilisée comme début de la suivante. Le fanion n'est alors pas dupliqué (voir figure 4.3). Il faut noter que ces fanions sont continuellement émis par l'ETTD et l'ETCD lorsqu'il n'y a pas de transmission de trame. Cela permet la synchronisation entre les deux équipements et le maintien de la liaison.

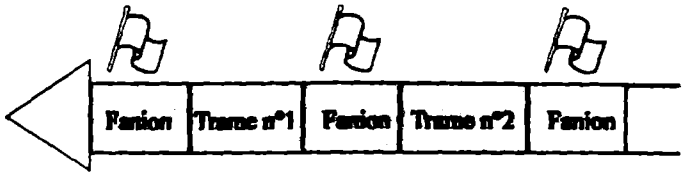


Figure 4.3 *- Lors de la transmission de trames adjacentes, le fanion de fin de l'une peut servir de fanion de début pour la suivante.*

TRANSPARENCE

Il est tout à fait probable de rencontrer la suite de bits 01111110 identique au fanion dans les données véhiculées par la trame. Si cette séquence était transmise telle quelle, le récepteur pourrait détecter un fanion alors que cela n'en est pas un. Pour éviter cela, une technique appelée *transparence* est utilisée : après l'émission du fanion de départ, on insère un bit à 0 chaque fois que l'on rencontre cinq bits à 1 consécutifs qui ne font pas partie d'un fanion. Les bits à 0 ainsi ajoutés sont systématiquement supprimés par le récepteur.

ANNULATION D'UNE TRAME

Si l'émetteur désire annuler une trame en cours de transmission, il pourra envoyer une suite d'au moins sept bits consécutifs à 1. Dès la réception de cette suite, le destinataire annulera toutes les données préalablement reçues pour la trame en cours. Il se placera alors en attente d'une nouvelle trame correcte.

Le champ d'adresse

Il est facile de confondre le terme « adresse » utilisé ici avec la notion d'adresse réseau rencontrée au niveau paquet de la recommandation X.25. Les fonctions de ces deux adresses sont très différentes. HDLC est une procédure *full duplex* qui permet l'émission simultanée des commandes et des réponses par les ETTD et ETCD. Avec HDLC, ce champ adresse du niveau trame indique l'équipement qui a généré la trame et la nature de cette trame (commande ou réponse).

Le champ adresse ne peut prendre que les deux valeurs :

1. 00000011 appelée « Adresse A ».
2. 00000001 appelée « Adresse B ».

Une trame contenant une commande venant de l'ETCD aura un champ d'adresse positionné à « Adresse A ». La trame émise par l'ETTD composée de la réponse à la commande précédente aura aussi son champ adresse à la valeur « Adresse A » (figure 4.4).

La séquence de contrôle de trame (FCS)

La séquence de contrôle de trame (FCS) est composée d'une séquence de 16 bits utilisée pour détecter les erreurs de transmission sur la ligne. L'émetteur calcule le FCS pour tous les bits de la trame compris entre le dernier bit du fanion de départ et le premier bit de la séquence de contrôle de la trame. Le récepteur vérifie la trame en effectuant la même opération sur les données reçues. Si son résultat est différent de celui indiqué par le FCS, la trame est déclarée incorrecte et est immédiatement écartée.

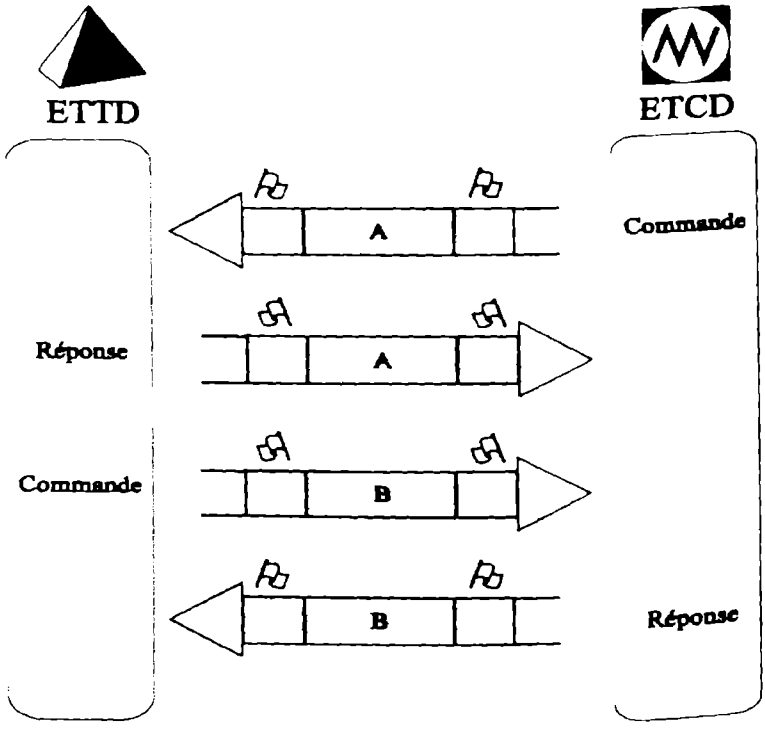


Figure 4.4 *- Le champ adresse permet d'identifier l'origine d'une commande. « A » indique que l'émetteur est l'ETCD et a pour valeur la suite binaire 00000011. « B » vaut 00000001 et signale que la commande vient de l'ETTD.*

Le champ de commande

Le champ de commande est composé de huit bits et son utilisation est plus complète que les autres composants de la trame. Il indique le type de la trame en cours d'émission.

On distingue trois types de trame. Une seule catégorie de trame possède un champ information alors que les deux autres ont des fonctions d'administration et de gestion. Ces trois types sont :

1. Les trames d'information (trames I) utilisées pour le transfert des paquets de données. Il est possible qu'elle véhiculent aussi des informations relatives au contrôle de flux du niveau trame.

2. Les trames de supervision (trames S) servent à réaliser les fonctions usuelles de supervision de la liaison telles que les accusés de réception, les demandes de retransmissions des trames I.

3. Les trames non séquentielles (trames U), dites aussi non numérotées, constituent un jeu de fonctions supplémentaires de supervision de la liaison, particulièrement en phase de connexion et déconnexion de la ligne.

Format du champ de commande

Le bit P/F

Le bit P/F (pour bit « poll/final ») indique une demande de réponse immédiate à la trame transmise. Lorsqu'une trame de commande est émise avec le bit P/F positionné à 1 (appelé alors *poll bit*), le correspondant distant retourne immédiatement une trame réponse où le bit P/F est aussi à 1 (on parle alors du *final bit*).

Numérotation des trames et les variables d'état

Il est nécessaire de numéroter certaines trames émises sur la ligne. On utilise pour cela des compteurs séquentiels appelés variables d'état.

On associe à chaque trame d'information un numéro séquentiel compris entre 0 et 7. Des variables associées à ces compteurs sont maintenues par chaque gestionnaire du niveau trame. Cette méthode est très simple mais pas toujours exposée de façon claire.

Chaque partenaire du couple (ETTD, ETCD) gère deux variables. La première, notée V(S), est le numéro de la prochaine trame qui va être émise. La seconde est V(R) et indique le numéro de la prochaine trame attendue en réception. La figure 4.5 illustre ce mécanisme alors que la figure 4.6 montre l'implémentation de ces compteurs dans le champ de commande.

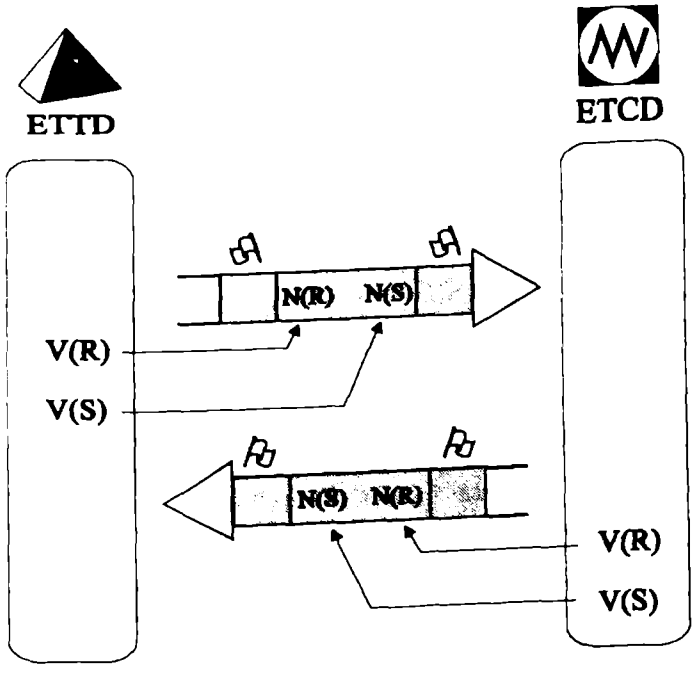


***Figure 4.5** - On associe aux trames émises des numéros de séquence gérés par des variables d'état.*

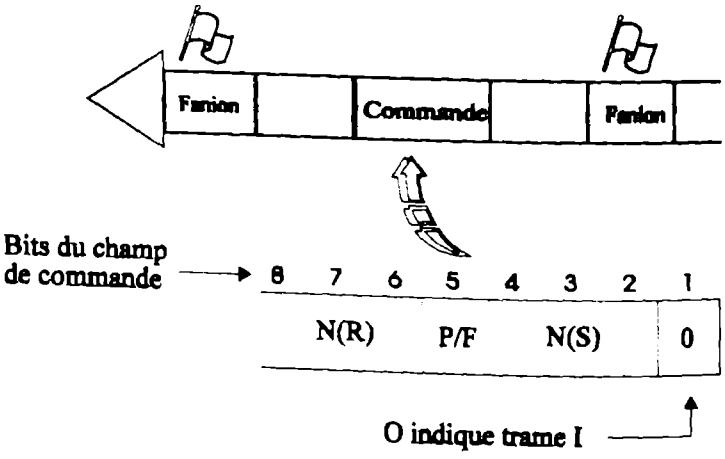


Figure 4.6 - Position des variables d'état dans le champ de commande.

A titre d'exemple (voir figure 4.7), supposons que les variables V(S) et V(R) sont remises à 0 de chaque côté. L'ETTD envoie une trame avec N(S)=0 et incrémente sa propre variable V(S) qui passe à 1. L'ETCD attend une trame dont le numéro doit être égal à sa variable V(R), soit 0 ici. Si cette trame lui plaît, il l'accepte et incrémente sa variable V(R) qui passe à 1. Si la trame lui paraît incorrecte, il la refuse en envoyant une trame de rejet (REJ) vers l'ETTD en lui signifiant le numéro de la trame en question.

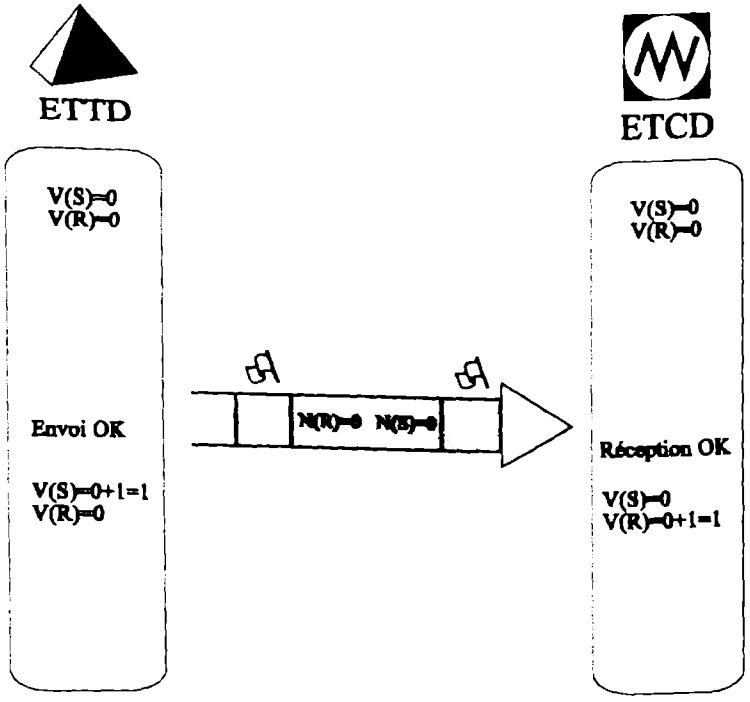


Figure 4.7 - Exemple d'utilisation des variables d'état.

Rappelez-vous que ce système de numérotation est mis en œuvre dans les deux sens.

Les trames d'information

Les trames d'information peuvent contenir soit des données de contrôle, soit un paquet de données utilisateur (voir figure 4.8). Il est important de noter que les données d'un paquet sont entièrement transparentes pour le niveau trame.

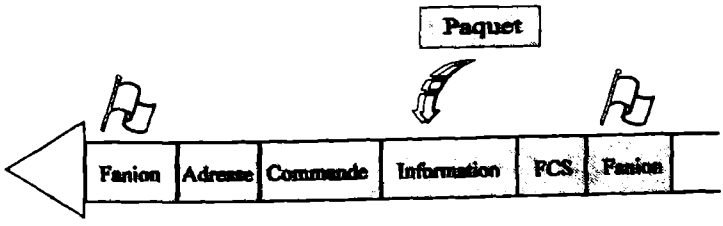


Figure 4.8 *- Les trames d'information contiennent soit une commande, soit un paquet de données fournies par l'utilisateur final.*

Les trames de supervision

Ces trames réalisent la supervision de la ligne. Elles ne possèdent pas de champ information. Il y a trois types de trames de supervision selon la valeur du champ de commande de la trame :

1. Trame RR = « Receive Ready ».
2. Trame REJ = « Reject ».
3. Trame RNR = « Receive Not Ready ».

La figure 4.9 montre les valeurs des bits 1 à 4 du champ de commande associées au type de trame de supervision.

LA TRAME RECEIVE READY (RR)

Les trames RR sont utilisées pour :

1. Indiquer que l'équipement récepteur est prêt à recevoir une nouvelle trame d'information.
2. Acquitter toutes les trames reçues numérotées jusqu'à N(R)-1.
3. Annuler une situation de débordement ou de blocage.

LA TRAME DE REJET (REJ)

La trame REJ est un accusé de réponse négatif. Elle est utilisée pour demander la retransmission des I-trames dont le numéro est supérieur ou

égal à N(R). La bonne réception des trames d'information de numéro inférieur ou égal à N(R)-1 est confirmée.

On peut noter qu'une seule condition de rejet peut exister pour un sens de transmission donné. Cette condition n'est annulée que sur la réception d'une trame d'information dont le compteur N(S) est égal à la valeur N(R) de la réponse à la trame REJ.

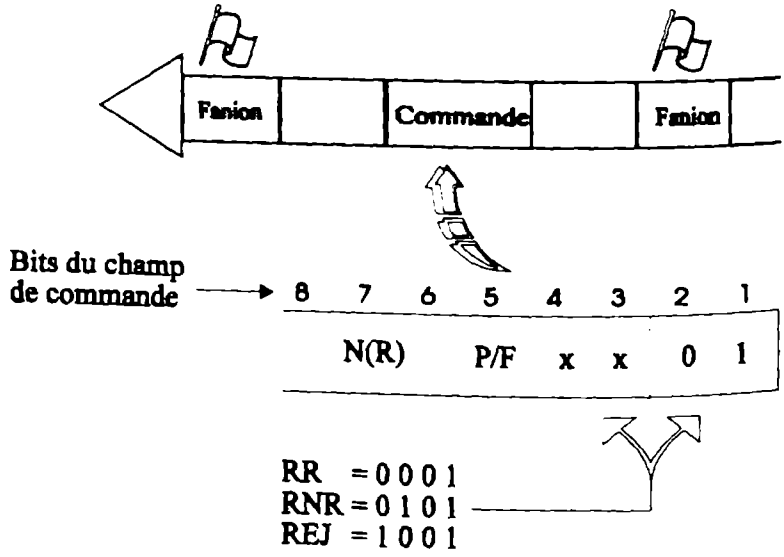


Figure 4.9 *- Les trames de supervision sont entièrement définies par les bits du champ de commande. Noter que les valeurs 01 des bits 1 et 2 montrent qu'il s'agit d'une S-trame.*

LA TRAME RECEIVE NOT READY (RNR)

Les trames RNR sont émises par l'ETTD ou l'ETCD pour signaler qu'il n'est pas capable de recevoir de nouvelles trames d'information. La trame RNR en réponse acquitte les I-trames dont le numéro est inférieur ou égal à N(R)-1.

Cette condition de blocage sera annulée par l'équipement en débordement dès qu'il émettra une trame UA, RR, REJ ou SABM. Les trames DISC ou DM annulent également cet état mais font en plus « tomber la liaison ». Une description de ces commandes et réponses est donnée ci-dessous.

Les trames non séquentielles

Les trames non séquentielles sont utilisées pendant l'établissement de la ligne, sa déconnexion et sa réinitialisation (voir figure 4.10). L'étude de ces trames est étroitement liée à la procédure de ligne employée.

LAPB ET LAP

Les procédures de lignes recommandées par le CCITT sont appelées LAPB (pour « Link access procedures balanced »). Avec LAPB on peut initialiser la ligne à partir d'une seule commande alors qu'avec LAP (de « Link access procedure »), procédure plus ancienne, il fallait générer une commande d'initialisation depuis l'ETTD et l'ETCD. Nous reviendrons sur les différences entre LAPB et LAP mais il faut noter que LAP est de moins en moins utilisée aujourd'hui.

LES COMMANDES LAPB

La trame *SABM (Set asynchronous balanced mode)* initialise la liaison en mode asynchrone équilibré dans lequel le récepteur peut émettre quand il le veut. Sur la réception de SABM, l'ETTD ou l'ETCD retournera une réponse de type *UA (Unnumbered acknowledgement).*

La trame *DISC (Disconnect)* permet de demander au correspondant la fermeture de la liaison. Il y a alors déconnexion de la ligne. Cette commande est acquittée par la réponse UA.

LES REPONSES LAPB

La trame *UA (Unnumbered acknowledgement)* sert d'acquittement des trames de type U.

La trame *FRMR (Frame reject)* est utilisée pour signaler une erreur sans reprise possible par retransmission de la trame invalide. Le champ d'information contient alors 24 bits (soit trois octets) qui décrivent la raison du rejet de la trame. Cette structure est décrite par la figure 4.11. V(S) et V(R) sont respectivement les variables d'état de l'équipement qui refuse la trame.

Bits du champ de commande

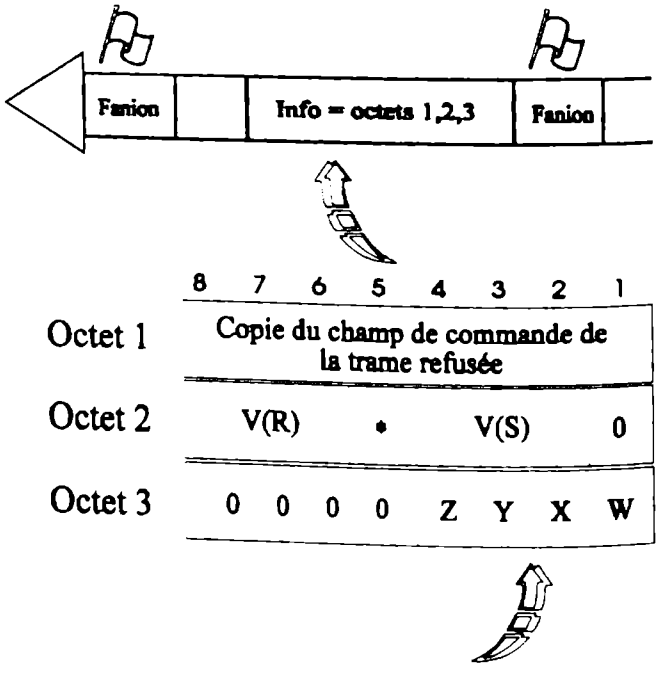
	8	7	6	5	4	3	2	1
SABM	0	0	1	P	1	1	1	1
DISC	0	1	0	P	0	0	1	1
UA	0	1	1	F	0	0	1	1
DM	0	0	0	F	1	1	1	1
FRMR	1	0	0	F	0	1	1	1

Figure 4.10 *- Les cinq trames non séquentielles utilisées lors de l'établissement, la déconnexion et la reprise de la liaison.*

LES DIFFERENCES ENTRE LAPB ET LAP

Les différences entre LAPB et LAP sont les suivantes :

1. Avec LAP, les trames de type S ne peuvent être que des réponses.
2. La trame *SARM (Set asynchronous response mode)* initialise la liaison pour chaque sens de transmission.
3. La trame *CMDR (Command reject)* est l'équivalent de FRMR du mode LAPB.



	Z	Y	X	W
Champ Cmde invalide	0	0	0	1
Champ I invalide	0	0	1	1
Champ I trop grand	0	1	0	0
N(R) invalide	1	0	0	0

Si FRMR : le bit * vaut 0 si la trame refusée est une commande et 1 si c'était une réponse.
Si CMDR : le bit * vaut 0

***Figure 4.11** - Sur un rejet de trame, le champ d'information contient 24 bits (3 octets) qui indiquent la raison du refus de la trame.*

L'état liaison déconnectée avec LAPB et LAP

C'est l'état dans lequel se trouve la ligne si le niveau physique n'est plus établi ou si c'est sa première initialisation. L'ETCD envoie la commande DISC à l'ETTD régulièrement. L'intervalle entre chaque émission de DISC est donné par le temporisateur T1 que nous retrouverons plus loin dans ce chapitre.

L'établissement de la liaison en LAPB

Il faut procéder à l'initialisation de la liaison entre ETTD et ETCD avant de pouvoir émettre les données. Nous supposerons ici que le niveau physique est opérationnel et que l'ETCD est en phase d'émission des commandes DISC comme nous l'avons décrit ci-dessus et comme l'illustre la figure 4.12.

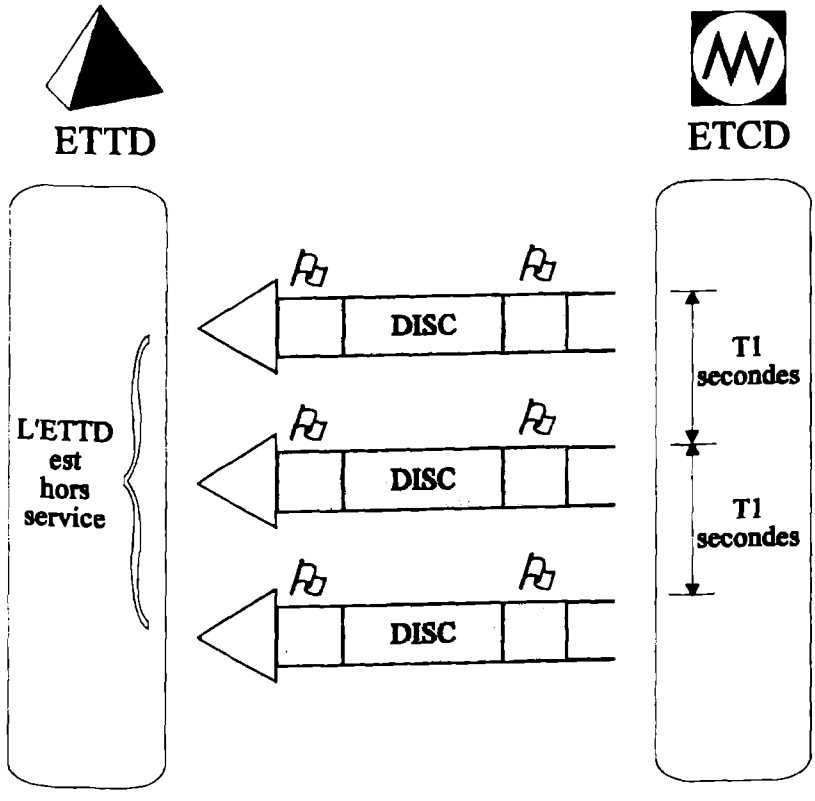


***Figure 4.12** - L'état déconnecté en LAPB et LAP. L'ETCD envoie des commandes DISC vers l'ETTD selon un intervalle donné par le temporisateur T1.*

Comme on peut le voir en figure 4.13 (a), l'initialisation de la ligne est réalisée avec la commande unique SABM en procédure LAPB. Il faut par contre deux commandes SARM symétriques dans le cas de LAP pour établir la liaison (voir figure 4.13 (b)).

Le transfert des données

A ce stade des opérations, la ligne est initialisée et prête à émettre des trames d'information. Afin de simplifier la situation, nous supposerons dans l'exemple décrit en figure 4.14 que la procédure est LAPB et qu'il n'y a pas eu de transfert de trames de type I au préalable.

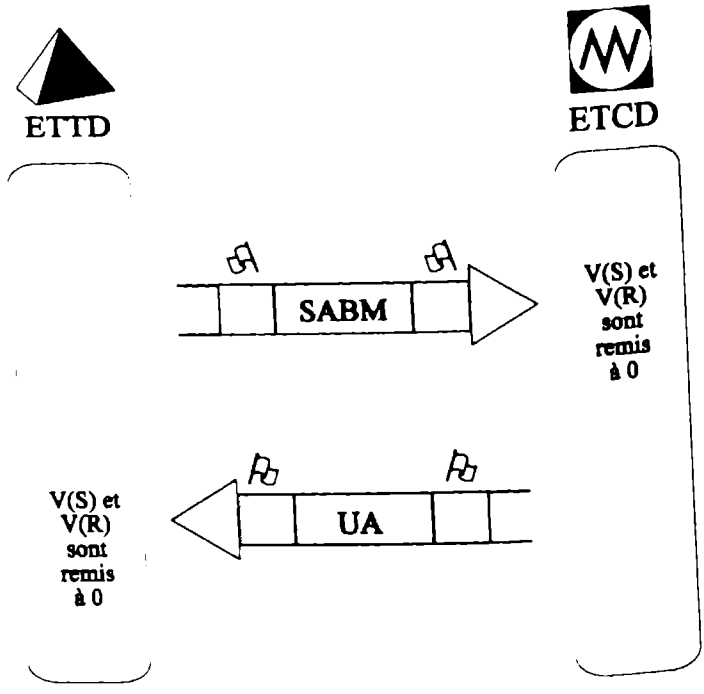


Figure 4.13 (a) *- Avec LAPB, l'initialisation se fait avec une commande SABM et une réponse UA.*

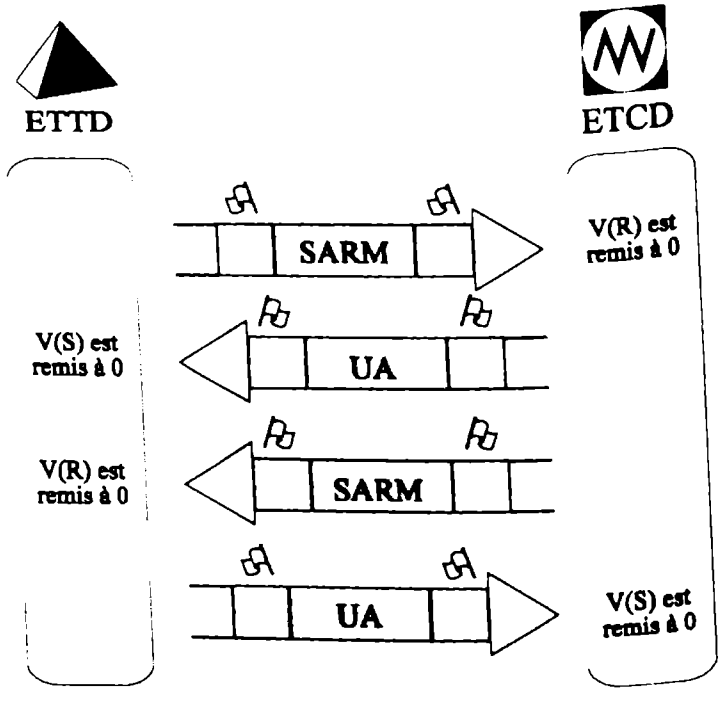


Figure 4.13 (b) *- LAP nécessite deux commandes SARM et deux réponses UA.*

Rappelez-vous que le niveau trame est chargé du transport des trames sur la liaison ; les données contenues dans le paquet du champ d'information sont absolument transparentes à ce niveau.

Dans l'exemple de la figure 4.14, l'ETCD accuse réception des trames de type I en répondant avec la trame de supervision RR (« receive ready » ou encore prêt à recevoir). Si l'ETCD a besoin d'émettre des trames d'information, il peut envoyer son acquittement avec une trame de type I plutôt que d'envoyer une trame RR. On appelle parfois cette situation un acquittement superposé. Ceci est schématisé par la figure 4.15.

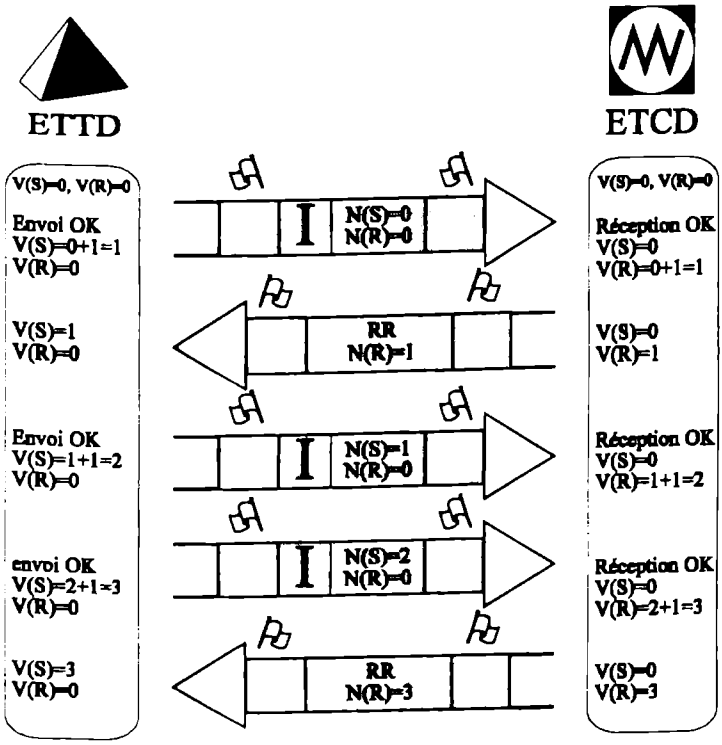


Figure 4.14 *- Le transfert des données : il y a accusé de réception des trames I valides par des trames de supervision RR.*

L'état de blocage

En pratique, on émet beaucoup plus de trames que dans notre exemple. C'est surtout le cas lors de transferts de grandes quantités de données. Il arrive alors que l'équipement en réception soit momentanément incapable d'accepter davantage de données. Une des raisons les plus fréquentes est que ses ressources de stockage sont entièrement utilisées (on appelle cette situation un état de *débordement mémoire*).

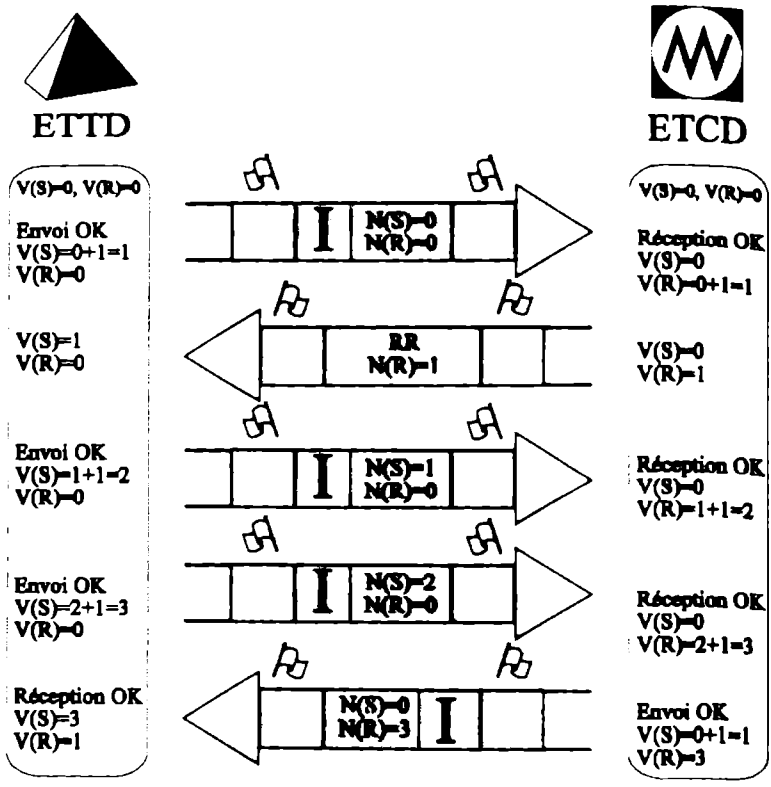


Figure 4.15 *- L'ETCD peut émettre une trame de type I comme accusé de réception des trames I préalablement reçues de l'ETTD. Cette méthode est plus performante que l'utilisation systématique de trames RR.*

La figure 4.16 illustre ce cas de blocage à l'aide d'un exemple très simple. Le terminal (ETTD) désire envoyer une certaine quantité d'information et émet la première trame de type I. Pour une raison quelconque, l'ETCD passe en état de débordement et envoie une trame RNR (réception non prête). L'ETTD arme alors son temporisateur T1 et restaure son compteur d'émission N2.

Si le temporisateur T1 expire, l'ETTD a plusieurs solutions :

1. Avec LAP, il peut retransmettre vers l'ETCD la dernière trame de type I avec le bit P (Poll bit) positionné.
2. Avec LAPB, il peut émettre une commande de supervision telle que RR, REJ ou RNR avec le bit P positionné.

L'équipement bloqué devra répondre à la commande de supervision et dans cet exemple, il acquitte la trame avec bit P par une trame RNR où le bit F est positionné. La condition de blocage disparaîtra dès que l'équipement en état de débordement émettra une trame REJ ou RR.

S'il ne répond pas à la requête, le compteur de répétition N2 de l'émetteur peut dépasser sa capacité et entraîner une réinitialisation de la ligne.

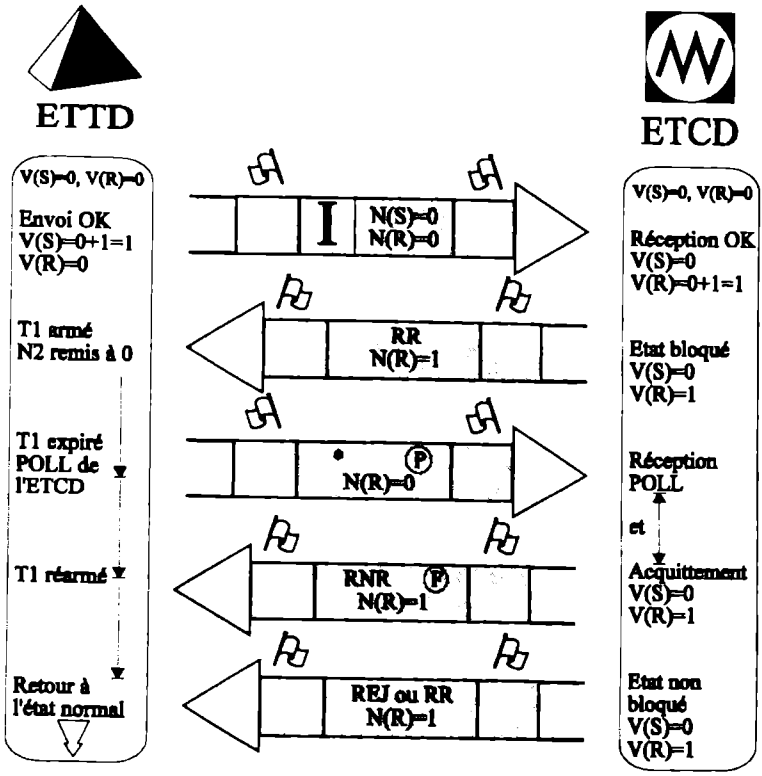


Figure 4.16 *- L'état de blocage lors duquel l'ETCD émet des trames RNR car il est incapable de recevoir de nouvelles trames de type I.*

La fenêtre du niveau trame

La fenêtre du niveau trame de la recommandation X.25 représente le nombre (noté K) de trames d'information numérotées séquentiellement qui peuvent ne pas être acquittées par le récepteur. Le terme « fenêtre du niveau trame » ne doit pas être confondu avec « la fenêtre du niveau paquet » qui joue un rôle analogue pour la couche supérieure.

Le nombre total de trames non encore acquittées doit être inférieur ou égal à 7. En d'autres termes, on peut dire que l'ETTD et l'ETCD arrêteront d'envoyer des trames de type I dès lors que V(S) = V(R) + K. L'émission reprendra lorsque les accusés de réception en attente seront reçus.

La perte de trames d'information

Lors de son parcours sur la liaison, une trame peut être perdue ou altérée provoquant une erreur de FCS côté récepteur. On utilise deux méthodes pour détecter la perte d'une trame :

1. L'utilisation des numéros de séquence : si une trame de type I est perdue pendant la transmission, le compteur d'émission N(S) provoquera un déséquencement dans la réception.
2. L'utilisation du temporisateur T1 : l'émetteur se sert de T1 pour détecter la perte d'une trame. Si un acquittement n'est pas reçu pendant le délai T1, l'émetteur reprendra la transmission de la trame perdue.

Détection d'une trame hors séquence

Une trame de rejet (REJ) est envoyée chaque fois qu'une trame d'information est reçue avec un numéro de séquence N(S) qui n'est pas celui attendu par le récepteur. Les trames de type I reçues ensuite seront ignorées (voir figure 4.17).

La trame B pourrait également présenter une erreur de FCS. Elle serait écartée par le récepteur de la même façon et avec des conséquences identiques à la situation créée par la perte d'une trame.

Reprise de la transmission grâce au temporisateur T1

Chaque fois qu'une trame de commande est émise, l'émetteur arme un temporisateur appelé T1. C'est la durée pendant laquelle l'émetteur s'attend à recevoir un accusé de réception. Si un tel acquittement est reçu pendant cet intervalle de temps, T1 est stoppé et réinitialisé. Si plusieurs trames ont été émises, T1 est simplement suspendu puis redémarré jusqu'à ce que l'acquittement attendu soit réceptionné. Si le temporisateur T1 expire, on enclenche la procédure de reprise. Sur ce plan, les procédures utilisées en LAP et LAPB diffèrent car LAPB permet l'envoi de commandes de supervision. Les exemples suivants exposent clairement ce point :

La reprise sur perte de trame grâce au temporisateur T1 en LAPB

La procédure de reprise en cas de perte de trame en LAPB est sensiblement différente de celle utilisée avec LAP car LAPB permet l'envoi d'une trame de supervision sous forme de commande. L'émetteur a alors la possibilité de solliciter le récepteur sans envoyer de trame d'information (voir figure 4.19).

L'exemple présenté en figure 4.18 montre l'ETTD envoyant une trame de type I et armant son temporisateur T1 ; la trame est perdue ou invalidée (son FCS est incorrect par exemple) et T1 arrive à expiration. L'ETTD peut envoyer une trame de supervision avec le bit « P » positionné pour imposer une réponse immédiate à l'ETCD. Ce dernier répond avec le bit « F » positionné pour acquitter la requête ainsi qu'avec le numéro de séquence N(R) qu'il attendait.

Sur réception de cette trame, l'ETTD repositionne correctement sa variable V(S) au numéro N(R) reçu et retransmet la trame d'information qui n'était pas arrivée à bon port.

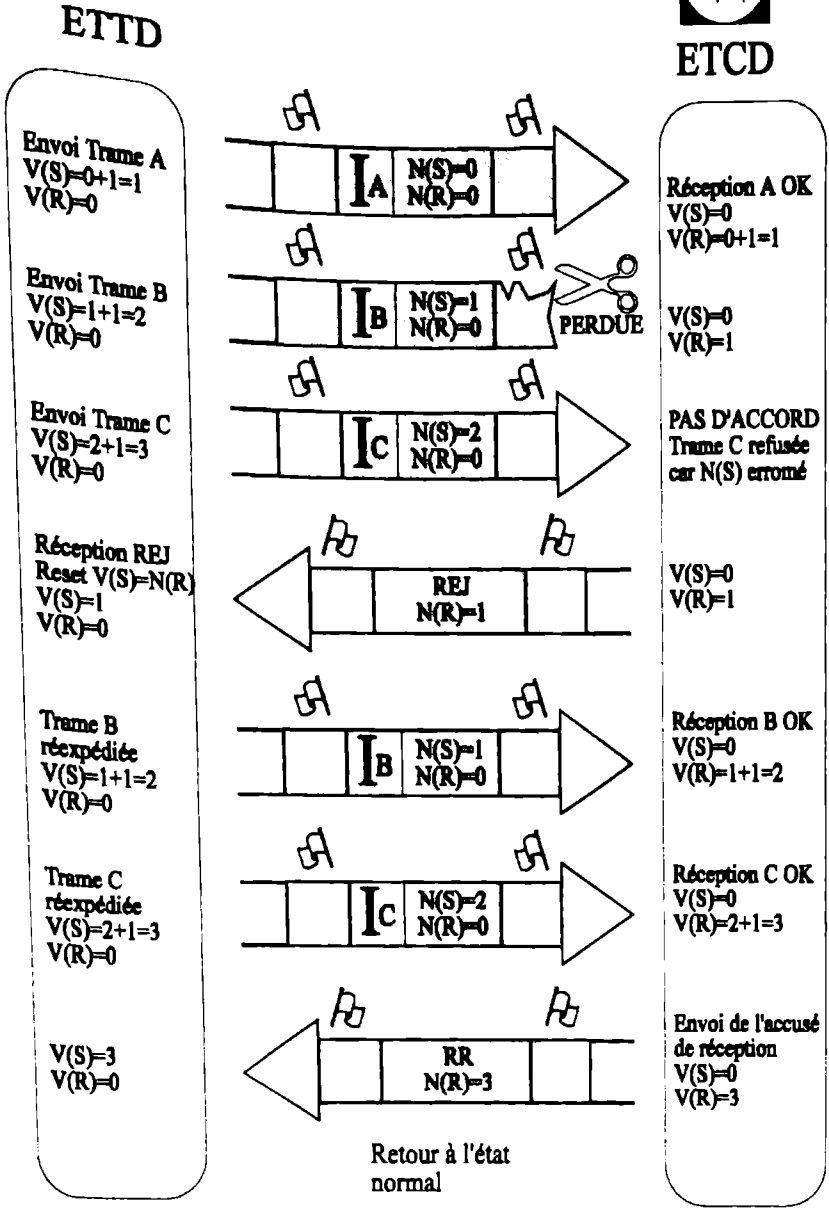


Figure 4.17 *- Une trame REJ est envoyée dès qu'une trame d'information hors séquence est reçue.*

La reprise sur perte de trame grâce au temporisateur T1 en LAP

Dans cet exemple, l'ETTD a émis une trame avec N(S)=2. Cette trame est perdue lors de la transmission ou écartée par le récepteur qui a détecté un FCS invalide ; il n'y a donc pas eu envoi d'acquittement vers l'émetteur. Le temporisateur T1 va vraisemblablement expirer et l'ETTD démarrera la procédure de reprise sur perte de trame.

Avec LAP, seule une trame d'information peut être une trame de commande. L'ETTD envoie donc une trame de type I avec le bit « P » positionné afin d'obtenir une réponse immédiatement de la part de l'ETCD (voir figure 4.20).

Dans ce cas particulier, l'ETCD répond avec une trame RR où le champ N(R) vaut 3 avec le bit « F » positionné pour acquitter l'action de « polling » due au bit « P ». Puisque le numéro reçu est différent de la variable V(S), l'ETTD corrige ce compteur en lui affectant la valeur N(R) et reprend la transmission.

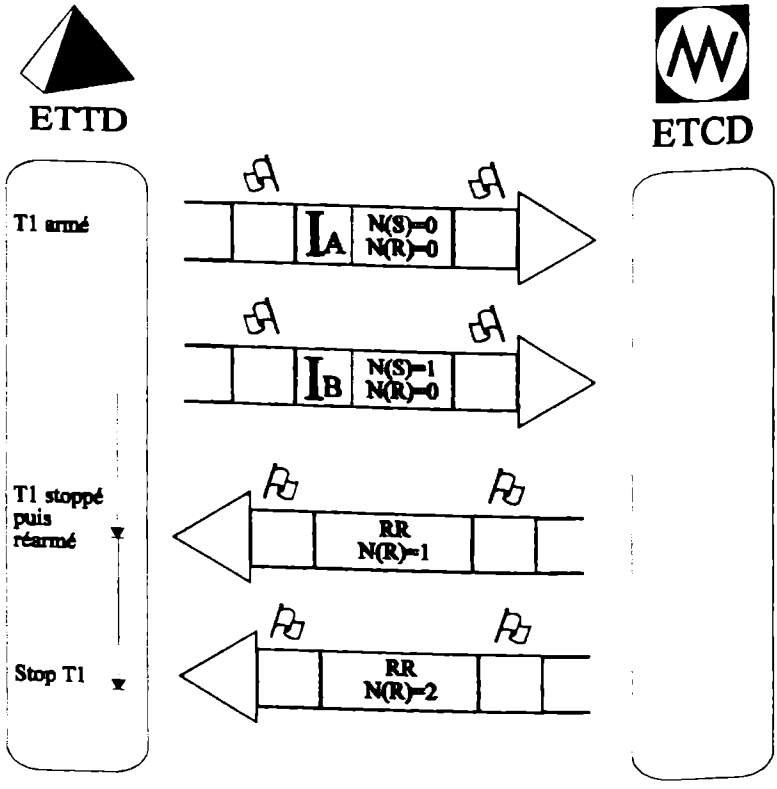


Figure 4.18 - *Le temporisateur T1 détermine l'intervalle de temps pendant lequel l'émetteur d'une trame de commande peut attendre un acquittement.*

La reprise sur perte d'acquittement grâce au temporisateur T1

Jusqu'ici, le temporisateur T1 a permis la reprise sur perte de trames de type I. Il peut aussi être utilisé pour récupérer la transmission d'acquittements qui auraient été perdus ou invalidés sur erreur de FCS.

Sur la figure 4.21, on a émis une trame d'information et l'accusé de réception n'est pas parvenu a l'émetteur dans le temps imparti donné par T1. Dans ce cas, l'émetteur peut envoyer une trame de supervision RR avec le bit « P » positionné pour obtenir une réponse immédiate. Sur réception de la trame RR, une trame de réponse RR est envoyée avec N(R) à la valeur de V(R) du récepteur et le bit « F » positionné.

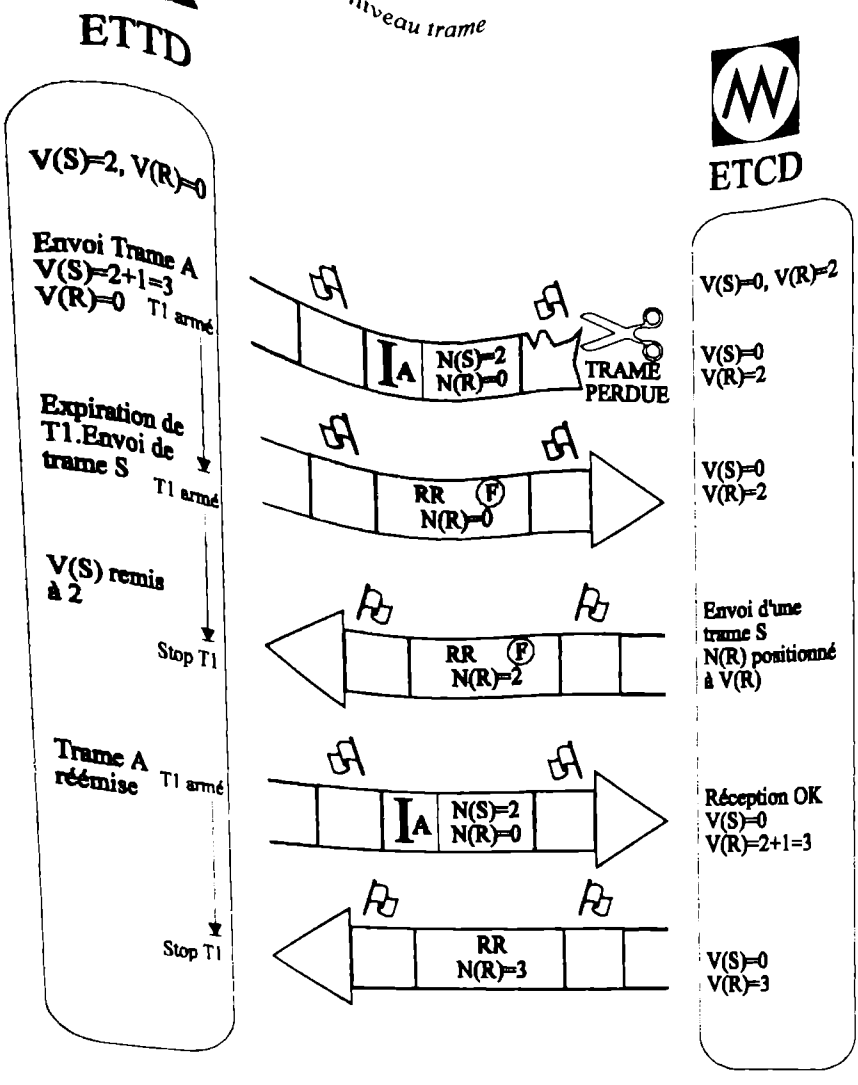


Figure 4.19 *- Reprise sur perte de trame grâce à T1 en LAPB.*

Auto-évaluation

1. Quelles sont les quatre fonctions principales du niveau trame ?
2. Que signifie l'abréviation HDLC ?
3. Citer les six groupes de données qui forment une trame HDLC.
4. Quelle est la fonction du champ adresse d'une trame HDLC ?
5. Que signifie « FCS » et quelle est sa fonction ?
6. Donner les différents type de trames de la recommandation X.25.

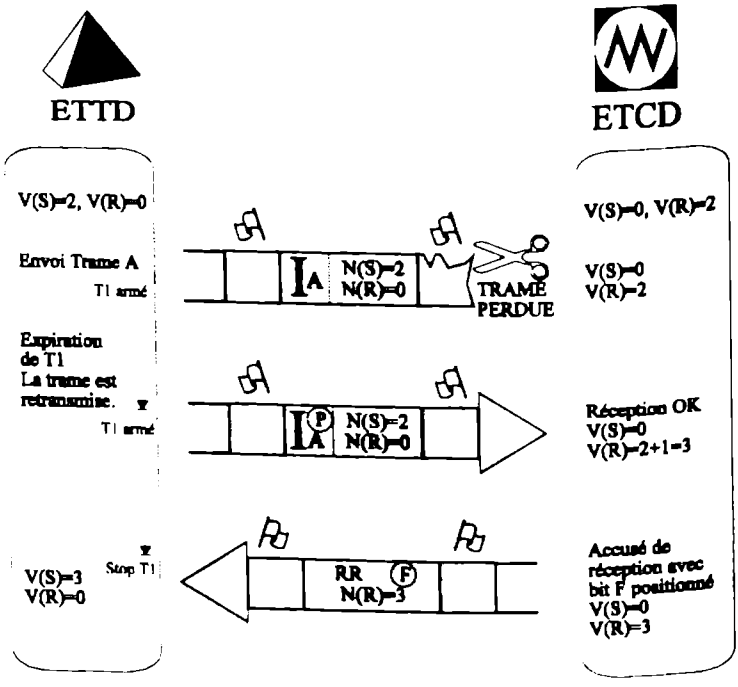


Figure 4.20 - *Reprise sur perte de trame grâce à T1 en LAP.*

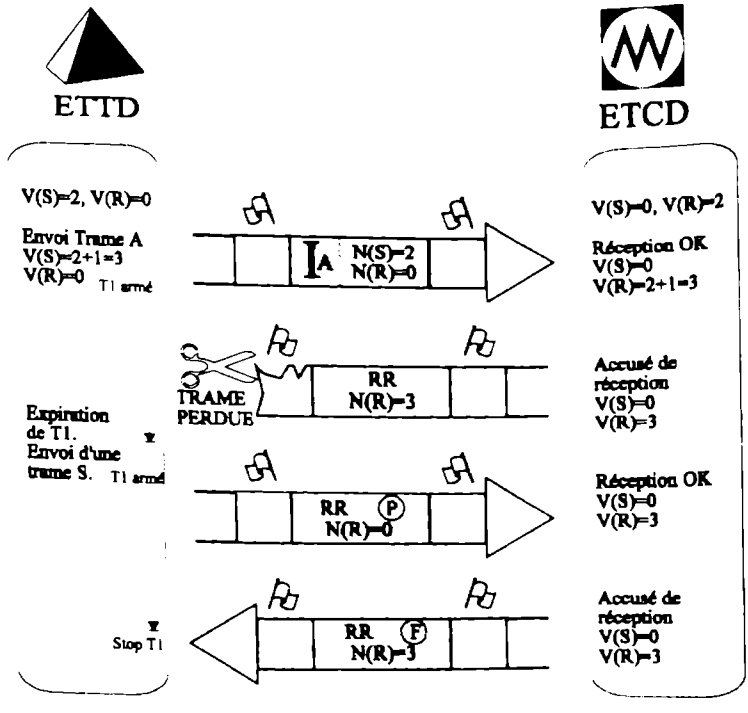


Figure 4.21 - *Reprise sur perte d'acquittement en utilisant T1.*

7. Que signifient les abréviations suivantes :
   (a) RR
   (b) REJ
   (c) RNR ?

8. En supposant que l'on utilise LAPB, quelle est la commande généralement utilisée pour établir la liaison ?

9. Donner deux méthodes pour détecter la perte d'une trame.

10. Quelles sont les fonctions des entités suivantes :
    (a) N(S)
    (b) N(R)
    (c) bit P
    (d) bit F ?

CHAPITRE 5

LE NIVEAU PAQUET

Les fonctions du niveau paquet

Le niveau paquet est le cœur de la recommandation X.25. Aussi appelé niveau 3, il permet la gestion des circuits virtuels entre les ETTD qui correspondent par le réseau. Contrairement au niveau trame, le niveau paquet est mis en œuvre de bout en bout (voir figure 5.1). Les principales fonctions du niveau paquet sont les suivantes :

1. L'établissement et la fermeture des circuits virtuels.
2. La gestion des circuits virtuels permanents.
3. La possibilité de transférer des paquets.
4. Le contrôle de flux de bout en bout.
5. La gestion des reprises en cas d'erreurs.

Malgré une apparente simplicité, les procédures mises en œuvre ici sont complexes et sophistiquées. L'utilisation de termes communs entre le niveau trame et le niveau paquet n'arrange rien ; elle aurait plutôt tendance à embrouiller le sujet. Il est conseillé d'avoir étudié le chapitre 4 sur le niveau trame avant de commencer la lecture de celui-ci.

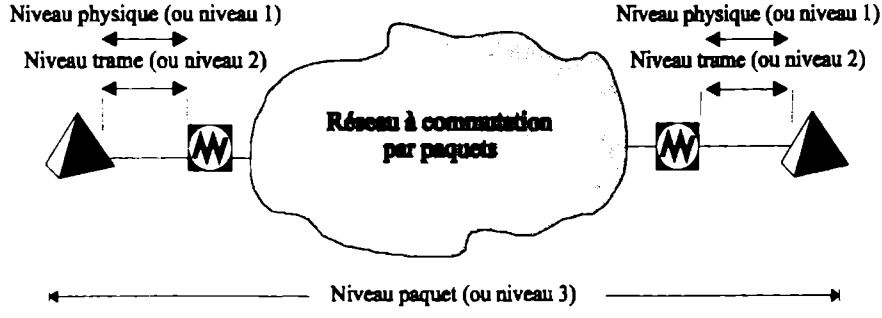


Figure 5.1 *- Contrairement aux niveaux inférieurs de X.25, le niveau paquet a une signification de bout en bout.*

Les circuits virtuels

Nous avons déjà présenté le concept de circuit virtuel au chapitre 2 où nous avons rencontré la distinction entre circuits commutés et

circuits permanents. Rappelez-vous que les circuits virtuels commutés (CVC) sont créés dynamiquement pour la durée de chaque communication. Les circuits virtuels permanents (CVP) sont effectivement des connexions permanentes entre deux utilisateurs. On peut établir le parallèle avec la différence entre une ligne téléphonique ordinaire pour laquelle l'appel est commuté selon le correspondant à atteindre et une ligne louée sur laquelle deux téléphones seraient toujours en communication.

Les voies logiques

Une voie logique est une technique qui permet la coexistence de plusieurs circuits virtuels simultanés sur une même ligne physique entre un utilisateur et le réseau à commutation par paquet sur lequel il est connecté.

On attribue à chaque circuit virtuel un numéro unique appelé numéro de voie logique. Ce numéro est valide pendant toute la durée de la communication et est associé à chaque paquet transféré dans le cadre de cette communication. Il permet de différencier ces paquets de ceux échangés avec d'autres correspondants. Plusieurs utilisateurs peuvent partager la même liaison physique puisque le numéro de voie logique permet un multiplexage des données. L'ETTD ou l'ETCD ne transmettront des données que lorsqu'ils en auront besoin. Ce principe est proche de celui du multiplexage temporel statistique qui est plus efficace que le multiplexage temporel. Sans entrer dans le détail de ces techniques sophistiquées, nous allons illustrer le mécanisme.

Supposons en figure 5.2 (a) que nous utilisons deux commutateurs circulaires synchrones. Le commutateur de gauche reste en position de contact suffisamment longtemps pour lire un caractère (A). Puisque les commutateurs sont synchronisés, le caractère (A) sera envoyé au contact correct sur l'autre commutateur de l'autre côté de la liaison.

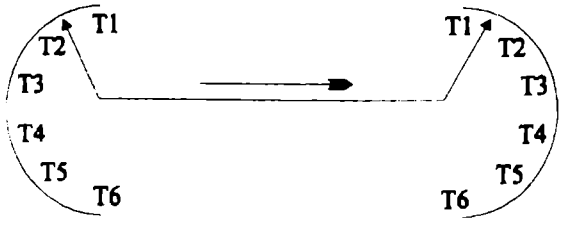


Figure 5.2 (a) *- Le principe du multiplexage temporel.*

Le multiplexage temporel est par nature aussi peu efficace que nos deux commutateurs circulaires qui maintiennent le contact de façon systématique pendant chaque période de temps, qu'il y ait des données à lire ou pas. Bien sûr, le multiplexage temporel utilise en réalité des circuits électroniques et non de tels commutateurs. Le multiplexage

temporel statistique met en œuvre des algorithmes un peu plus complexes (d'où le terme *statistique*) pour s'assurer que le circuit de transmission n'est utilisé que par les équipements qui ont des données à envoyer. De plus, des techniques de compression de données sont utilisées.

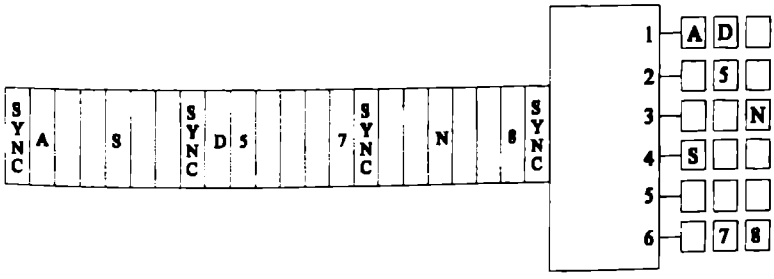


Figure 5.2 (b) *- L'illustration du manque de performance du multiplexage temporel côté réception.*

La figure 5.2 (b) illustre le multiplexage temporel côté réception équivalent à notre commutateur circulaire droit de la figure 5.2 (a). On associe une tranche de temps à chaque voie, même si aucune donnée ne lui est destinée. Les rectangles vides sont autant de temps perdu sur la liaison. La figure 5.2 (c) montre comment le multiplexage temporel statistique utilise la compression de données pour ne transporter que celles émises par les correspondants.

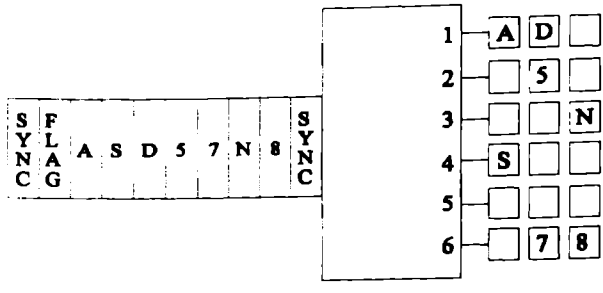


Figure 5.2 (c) *- La compression des données lors du multiplexage temporel statistique permet l'utilisation de la ligne de manière plus efficace.*

Rappelez-vous que les numéros de voie logique permettent le multiplexage de la ligne de communication. La numérotation des voies logiques n'a de signification qu'entre ETTD et ETCD. Le réseau utilise sa propre numérotation et d'autres valeurs seront utilisées côté ETTD distant entre lui et son ETCD correspondant. Il est important d'observer que vous pouvez être connecté sur la voie logique *X* alors que votre correspondant est sur la voie logique *Y*. Il faut surtout éviter de penser que les numéros de voies logiques sont les mêmes de chaque côté (voir la figure 5.3).

Attribution des voies logiques

L'attribution des numéros de voie logique suit les directives de la recommandation X.25. Il est en théorie possible de gérer 4 096 voies logiques numérotées de 0 à 4 095, bien que la voie logique 0 soit souvent réservée à des fins de reprise et de diagnostic. En pratique, le nombre de voies logiques que l'on peut espérer gérer sur les équipements du marché dépasse rarement 255. Alors pourquoi ne pas utiliser les 4 096 numéros possibles ? C'est parce que l'équipement matériel devrait posséder des ressources considérables pour atteindre ce nombre. Nous avons vu au chapitre 2 que l'interface entre ETTD et ETCD est constituée de petits ordinateurs. Dès que le nombre de voies logiques augmente, les besoins en mémoire de ces équipements augmentent. Au-delà d'une certaine limite, ces équipements sont aujourd'hui difficilement réalisables.

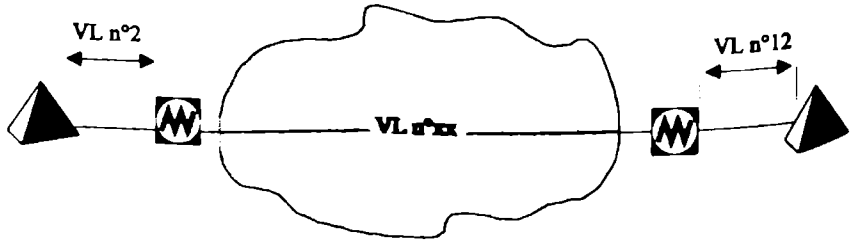


Figure 5.3 - Les numéros de voie logique ont une signification locale; un numéro différent peut être attribué à chaque extrémité du circuit et dans le réseau.

Les types de voies logiques

Les voies logiques sont classées en quatre grands types :

1. Les voies logiques permanentes (CVP).
2. Les voies entrantes (CVC spécialisés arrivée).
3. Les voies mixtes (CVC dans les deux directions).
4. Les voies sortantes (CVC spécialisés départ).

Pour chaque type de voie logique, il y deux groupes de voies logiques, ce qui fait un total de 8 groupes possibles (voir le tableau 5.1).

L'attribution de la voie logique est réalisée lorsque le circuit est établi. Les fournisseurs d'équipements réseau sont plus ou moins rigoureux sur cette attribution. Cela est dû au fait que leurs équipements n'ont qu'une portée locale, entre ETTD et ETCD. Les collisions d'appels sont alors acceptables (c'est le cas lorsque ETTD et ETCD désirent initialiser un appel simultanément sur la même voie logique). Pour résoudre ce problème, l'ETTD émettra toujours son appel sur la voie logique disponible la plus haute. A l'inverse, l'ETCD utilisera toujours le numéro le plus bas.

Tableau 5.1 - Attribution des voies logiques.

Type de voie logique	Numéro de groupe	1er numéro dans le groupe
CVP	0	1
CVP	1	0
CVC entrants	2	0
CVC entrants	3	0
CVC mixtes	4	0
CVC mixtes	5	0
CVC sortants	6	0
CVC sortants	7	0

Paquets et en-têtes de paquets

Un paquet est un bloc de données utilisateur auxquelles on a attaché un en-tête. Cet en-tête est tout simplement une suite de données propres au paquet et qui varie selon le type de ce paquet. Vous vous souvenez sans doute que les données sont transportées sur la ligne sous forme de trame. La figure 5.4 montre un paquet de données utilisateur transporté dans le champ information d'une trame de type I émise ensuite sur le réseau par le niveau physique.

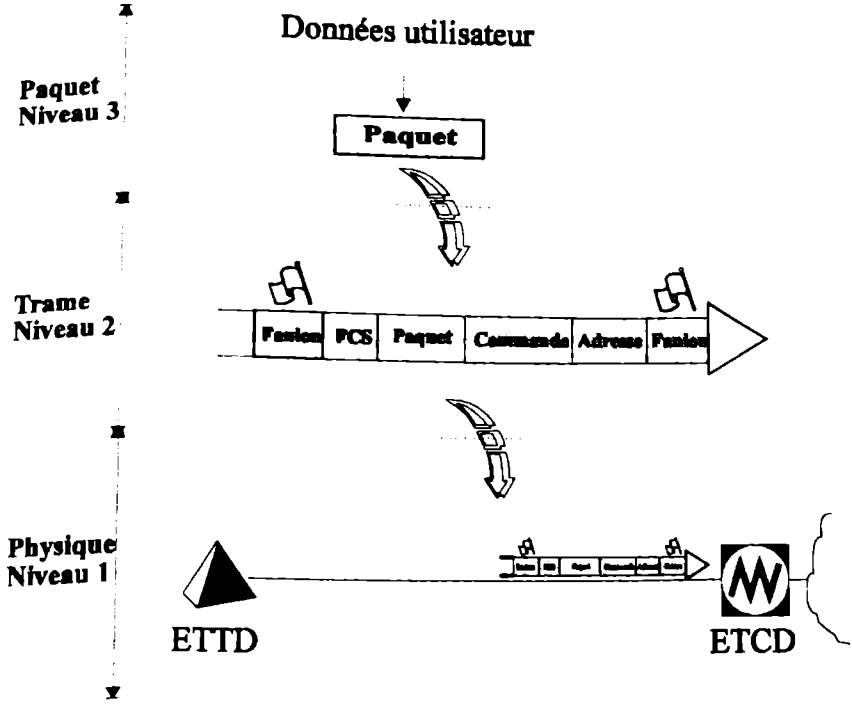


Figure 5.4 - Les paquets produits au niveau 3 (niveau paquet) sont transportés par les trames d'information au niveau 2 (niveau trame). La trame est ensuite transmise par le niveau 1 (niveau physique).

En-têtes de paquets

Tous les en-têtes de paquet sont composés de trois champs communs de chacun 8 bits. Ces trois octets forment l'en-tête du paquet. Ces en-têtes contiennent beaucoup d'informations associées au paquet lui-même. Le premier octet contient l'identificateur général de format (le GFI) qui indique l'organisation du reste du paquet. Le premier octet contient aussi le numéro de groupe de voie logique. Ce numéro associé au deuxième octet donne le numéro de voie logique sur 12 bits. Le troisième octet permet l'identification du type de paquet transporté. Il y a en tout 20 types de paquets différents que nous passerons en revue.

Dans la littérature, les en-têtes de paquets sont généralement représentés verticalement plutôt qu'à l'horizontale. Ceci permet de disposer les informations de façon plus claire. Pour chaque octet, le premier bit transmis est à droite et s'appelle *bit de poids faible*.

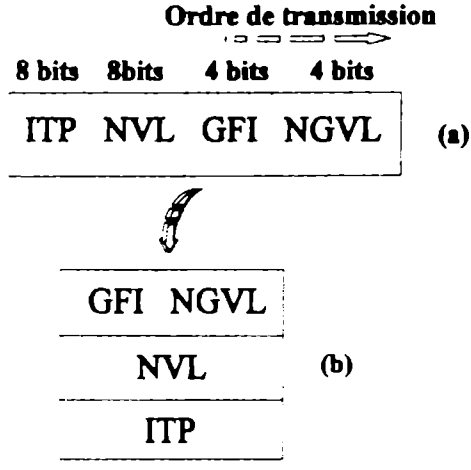


Figure 5.5 *- L'en-tête de paquet est commun aux seize types de paquets : (a) montre l'ordre de transmission où le bit de droite de NGVL est le premier et (b) illustre l'en-tête de paquet comme on le rencontre dans la littérature.*

LE CODAGE BINAIRE

Un simple rappel sur le codage binaire peut être bénéfique lors de l'étude des paquets et en-têtes de paquets. L'exemple décrit en figure 5.6 montre un octet composé de la suite de 8 bits (00100101). Les bits sont numérotés de droite à gauche. Le premier bit (bit n°1) est aussi appelé bit de poids faible et sera transmis en premier. L'exemple donné en figure 5.6 se passe de commentaires.

L'identificateur général de format

L'identificateur général de format est composé de 4 bits et précise l'organisation du paquet de façon globale. Il se décompose comme suit.

Le bit 8 ou « bit Q » est le bit qualificateur de données. Si ce bit est positionné à 1, le paquet contient des informations de contrôle de niveau supérieur. Le seul niveau supérieur défini est X.29 que nous étudierons lors du chapitre 7.

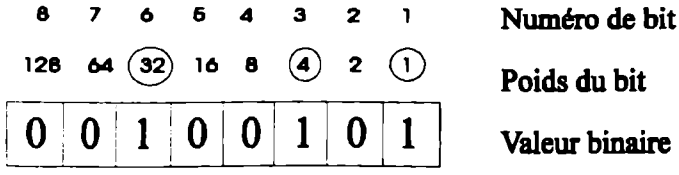


Figure 5.6 - La suite binaire 00100101 représente la valeur décimale 37 décomposée en 32+4+1.

Le bit 7 ou « bit D » est le bit de confirmation de distribution et est utilisé pour choisir le mode d'acquittement de la livraison du paquet à son destinataire. Il peut être local (entre ETTD et ETCD) si le bit 7 vaut 1 ou de bout en bout (entre les deux utilisateurs du réseau) s'il est nul.

Les bits 3 et 4 précisent si on utilise une numérotation modulo 8 ou 128. Comme nous le verrons rapidement, on affecte un numéro de séquence à tous les paquets. La numérotation modulo 8 utilise 3 bits qui autorisent 8 numéros de séquence allant de 0 à 7. La numérotation modulo 128 tient sur 7 bits et offre la possibilité de numéroter les paquets de 0 à 127 (voir figure 5.7).

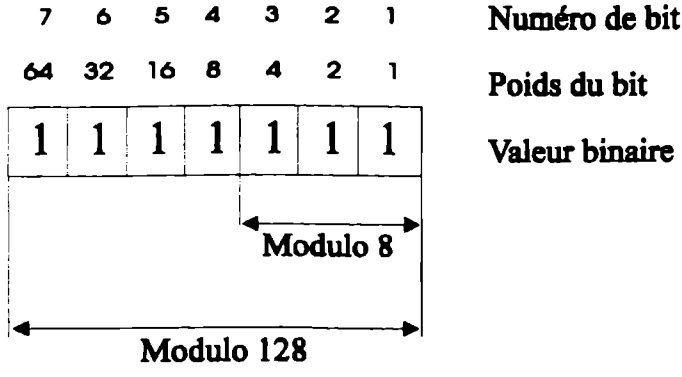


Figure 5.7 - Illustration de la numérotation modulo 8 et 128. Le modulo 8 tient sur 3 bits, ce qui permet d'atteindre la valeur 4+2+1 = 7 alors que le modulo 128 autorise jusqu'à 64+32+16+8+4+2+1=127.

Numéros de groupe de voies logiques et numéro de voie logique

Un numéro de voie logique est attribué à chaque circuit virtuel dès qu'une communication est établie entre deux utilisateurs ; une même ligne peut ainsi supporter plusieurs circuits virtuels. Il faut bien se souvenir qu'un numéro de voie logique n'a de sens qu'entre deux

équipements adjacents dans un réseau. Il ne sera pas forcément identique d'un bout à l'autre de ce réseau (revoir la figure 5.3).

NUMEROS DE VOIE LOGIQUE

Le numéro de groupe de voies logiques (NGVL) et le numéro de voie logique (NVL) sont associés pour former un nombre sur 12 bits qui permet d'identifier un circuit virtuel de façon unique. Ce nombre sur 12 bits peut en théorie permettre l'établissement de 4 096 circuits virtuels sur une interface du niveau paquet. Quelques confusions sont parfois faites sur ce sujet. Dans de nombreux livres, on assure qu'il est possible d'avoir jusqu'à 4 096 appels en expliquant à peine d'où vient ce nombre.

La figure 5.8 donne une représentation du champ numéro de voie logique sur 12 bits avec les valeurs associées à chacun. En additionnant ces valeurs, on arrive à un total de 4 096 voies logiques possibles. Si la voie 0 est réservée, il reste 4 095 possibilités. Si le fait que ce champ soit divisé en deux parties vous complique les choses, oubliez le terme *numéro de groupe de voies logiques* et voyez l'ensemble de ce champ comme *le* numéro de voie logique. Dans la figure 5.8, le numéro de voie logique vaut 12. Cette valeur est obtenue par le positionnement à 1 des bits 3 et 4 dont les valeurs associées sont respectivement 4 et 8 (car 2^3=4 et 2^4=8) qui font un total de 8+4=12.

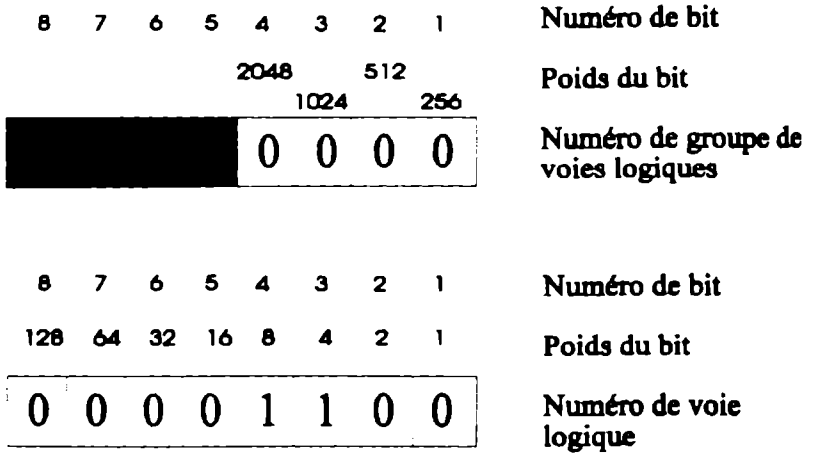


***Figure 5.8** - L'association du numéro de voie logique et du numéro de groupe de voies logiques donne une valeur décimale comprise entre 0 et 4 095. Il y a donc en théorie 4 096 voies logiques possibles. On montre ici la voie logique numéro 12.*

L'identifiant du type de paquet

L'identifiant du type de paquet (noté octet ITP) permet la distinction entre 20 types de paquets différents. Cet identifiant est présent dans l'en-tête de tous les paquets et nous étudierons cet octet plus en détail dans la suite du chapitre. Remarquez que quelques réseaux (tels que PSS

en Grande Bretagne) en utilisent seulement 14. Le CCITT a rendu optionnels trois types de paquets.

Le tableau 5.2 présente ces 20 types de paquet regroupés fonctionnellement. On peut noter que le nom d'un paquet dépend du sens dans lequel il est émis. Par exemple, un paquet d'appel sortant (ou demande d'appel) devient un paquet d'appel entrant du côté du correspondant distant. Les trois types de paquets optionnels sont repérés par le symbole (*). Le réseau PSS n'utilise pas les paquets RR (modulo 128), RNR (modulo 128) et Diagnostic. Comme le montre le tableau 5.2 suivant, on peut classer les différents types de paquets en 6 grands groupes fonctionnels.

Ces 6 catégories sont les suivantes :

1. L'établissement et la rupture de communication.
2. Les paquets de données.
3. Les paquets d'interruption.
4. Les paquets de contrôle de flux et de reprise.
5. Les paquets de diagnostic.
6. Les paquets d'inscription.

Remarquez que les deux derniers groupes ne sont pas disponibles sur tous les réseaux.

Les paquets d'établissement et de rupture de communication sont utilisés pour initialiser et rompre les appels. Ils peuvent cependant parfois contenir des données.

Les paquets de données ne servent qu'au transport des informations.

Les paquets d'interruption permettent de régler certains problèmes sans rompre ou réinitialiser complètement le circuit virtuel.

Les paquets de contrôle de flux et de reprise ne contiennent pas de données utilisateur. Le contrôle de flux est réalisé grâce aux paquets RR et RNR qui sont échangés de bout en bout contrairement aux trames qui portent le même nom et qui n'ont qu'une signification locale. A l'inverse des paquets d'interruption, les paquets de reprise réinitialisent complètement le circuit virtuel avec perte éventuelle des données en cours d'émission.

Les paquets de diagnostic et d'inscription sont optionnels et seront abordés dans la suite du chapitre.

Tableau 5.2 *- Les différents types de paquets classés par groupes fonctionnels. Quelques uns sont optionnels et ne sont pas gérés par certains réseaux.*

Types de paquets		Octet ITP
ETCD vers ETTD	ETTD vers ETCD	8 7 6 5 4 3 2 1
Etablissement et rupture de communication		
Appel entrant	Demande d'appel	0 0 0 0 1 0 1 1
Communication établie	Communication acceptée	0 0 0 0 1 1 1 1
Indication de libération	Demande de libération	0 0 0 1 0 0 1 1
Confirmation de libération ETCD	Confirmation de libération ETTD	0 0 0 1 0 1 1 1
Données et interruptions		
Données ETCD	Données ETTD	x x x x x x x 0
Interruption ETCD	Interruption ETTD	0 0 1 0 0 0 1 1
Confirmation d'interruption ETCD	Confirmation interruption ETTD	0 0 1 0 0 1 1 1
Contrôle de flux et réinitialisation		
RR ETCD (modulo 8)	RR ETTD (modulo 8)	x x x 0 0 0 0 0
RR ETCD (modulo 128)*	RR ETTD (modulo 128)*	0 0 0 0 0 0 0 0
RNR ETCD (modulo 8)	RNR ETTD (modulo 8)	x x x 0 0 1 0 0
RNR ETCD (modulo 128)*	RNR ETTD (modulo 128)*	0 0 0 0 0 1 0 0
	REJET ETTD (modulo 8)*	x x x 0 1 0 0 0
	REJET ETTD (modulo 128)*	0 0 0 0 1 0 0 0
Indication de réinitialisation	Demande de réinitialisation	0 0 0 1 1 0 1 1
Confirmation réinitialisation ETCD	Confirmation réinitialisation ETTD	0 0 0 1 1 1 1 1
Reprise		
Indication de reprise	Demande de reprise	1 1 1 1 1 0 1 1
Confirmation de reprise ETCD	Confirmation de reprise ETTD	1 1 1 1 1 1 1 1
Diagnostic		
Diagnostic*		1 1 1 1 0 0 0 0
Inscription		
	Demande d'inscription	1 1 1 1 1 0 0 0
Confirmation d'inscription		1 1 1 1 1 0 1 1

(*) = paquets optionnels non disponibles sur l'ensemble des réseaux.

Utilisation et procédures du niveau paquet

Le terme procédure est souvent rencontré avec X.25. Les procédures du niveau paquet indiquent la façon d'utiliser ce sous-ensemble de la recommandation X.25. Mais éloignons-nous pour l'instant de la notion de commutation de paquets pour aborder un sujet bien connu : le téléphone. Il y a de nombreuses similitudes entre les procédures ou mécanismes mis en œuvre avec un téléphone et les procédures du niveau paquet.

Prenons un exemple : vous désirez dialoguer au téléphone avec un ami vivant à l'autre bout de la terre. Vous allez décrocher le combiné et appeler la personne en composant le bon numéro de téléphone. Votre ami va entendre la sonnerie lui indiquant un appel et vous pourrez commencer votre conversation dès qu'il aura décroché son téléphone pour répondre à cet appel. Lorsque vous aurez fini, chacun dira probablement « au revoir » et raccrochera son combiné.

Il y a trois phases distinctes dans ce mécanisme :

1. L'appel téléphonique.
2. La conversation.
3. Le moment où chacun raccroche.

Ces trois phases sont identiques à celles mises en œuvre par le niveau paquet qui sont :

1. L'établissement de l'appel.
2. Le transfert de données.
3. La déconnexion.

Nous allons maintenant détailler ces différentes phases en commençant par l'établissement de l'appel.

L'établissement de la communication

Un appel sur un circuit virtuel au travers d'un réseau à commutation de paquets est réalisé grâce à un paquet de *demande d'appel* émis par l'ETTD local (voir figure 5.9). Ce paquet indique l'adresse de destination et le numéro de voie logique sélectionné pour cette session particulière. Le paquet peut aussi contenir des informations sur d'éventuels services complémentaires nécessaires. Le paquet d'appel peut transporter jusqu'à 16 octets de données utilisateur. Si on utilise la *sélection rapide*, le paquet peut contenir jusqu'à 128 octets de données utilisateur.

Le réseau routera automatiquement la demande d'appel pour atteindre l'ETCD le plus proche du correspondant distant. L'ETCD sélectionnera alors un numéro de voie logique libre et transmettra un paquet d'appel entrant vers l'ETTD distant. Si l'utilisateur désire accepter cet appel, l'ETTD émettra un paquet signifiant que l'appel est

accepté en utilisant un numéro de voie logique identique à celui reçu lorsque la requête lui est parvenue.

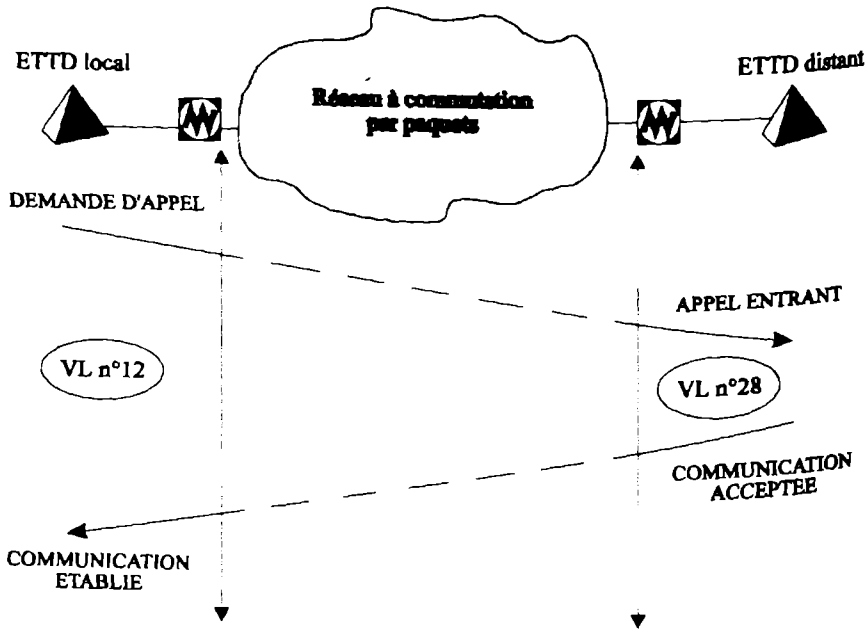


Figure 5.9 *- La phase d'établissement de la communication est initialisée par un paquet de demande d'appel par l'ETTD local. Notez bien que les numéros de voie logique n'ont qu'une signification locale.*

A ce moment, la phase d'établissement de la communication est terminée et les deux utilisateurs peuvent commencer à échanger des paquets de données. Il faut cependant retenir quelques points importants :

1. Rappelez-vous que le numéro de voie logique n'a pas de signification de bout en bout. Il n'a de sens qu'entre ETTD et ETCD.
2. Il faut également noter que le nom des paquets varie avec leurs parcours dans le réseau. Par exemple, un paquet d'appel sortant est appelé *demande d'appel* côté émetteur et devient un *appel entrant* côté récepteur.

Avant de continuer, il est nécessaire d'étudier de façon plus précise le format des paquets d'appel. Ce type de paquet est assez représentatif des fonctionnalités que l'on retrouve dans les 13 autres sortes de paquets.

Les paquets d'appel

Le paquet d'appel (qui désigne à la fois les paquets de demande d'appel et les paquets d'appel entrant) présenté en figure 5.10 est composé de champs dont certains sont communs à tous les types de

paquets. Nous allons détailler rapidement ces différents champs, puis nous étudierons leurs fonctions. Rappelez-vous que les trois premiers octets sont présents dans tous les paquets.

L'IDENTIFICATEUR GENERAL DE FORMAT

Ce champ de 4 bits a été présenté dans les pages précédentes. Il indique le format et l'organisation générale du paquet.

Le champ suivant contient le numéro de voie logique sélectionné pour l'appel à effectuer. Ce numéro est codé sur 12 bits et n'a qu'un sens local. Il n'est pas nécessairement identique à travers le réseau.

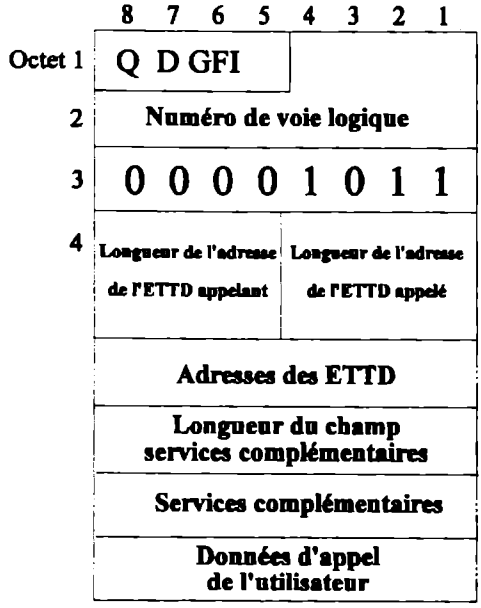


Figure 5.10 *- Les paquets de demande d'appel et d'appel entrant. Les trois premiers octets sont communs à tous les paquets.*

Le quatrième octet contient la longueur des champs d'adresse. Il se décompose en deux *digits* (demi-octets ou groupes de 4 bits) qui indiquent les longueurs des adresses ETTD appelantes et appelées. Les octets suivants donnent les adresses ETTD associées. Nous détaillerons les mécanismes d'adressage dès le paragraphe suivant.

Les octets suivants indiquent longueur et contenu du champ *services complémentaires* et seront également étudiés plus en détail.

Le dernier champ du paquet d'appel est une zone appelée *champ de données d'appel de l'utilisateur*. Il peut contenir jusqu'à 16 octets d'informations utilisateur (ou 128 si on utilise la sélection rapide). L'utilisateur peut se servir de ce champ comme il l'entend pour apporter des informations complémentaires au paquet d'appel. A titre d'exemple, on y trouvera fréquemment des codes d'identification permettant

l'orientation de l'appel vers une application bien précise (accès à un système de gestion de base de données).

L'adressage

On attribue aux utilisateurs d'un réseau à commutation par paquets une adresse unique (parfois appelée *adresse réseau*) comme on peut le faire de façon analogue avec les numéros de téléphones associés aux abonnés. Un exemple est fourni par le serveur d'échange d'informations (BBS ou Bulletin board service) de PSS au Royaume-Uni dont l'adresse est 23421920100515. Remarquez qu'il s'agit d'une adresse sur 14 chiffres.

La recommandation X.121 du CCITT prévue pour les réseaux publics peut s'appliquer aux réseaux privés. Une adresse X.121 est constituée d'au plus 15 chiffres et permet d'identifier de façon unique un pays ou une région géographique, un réseau et un abonné dans ce réseau. Ses composants sont :

1. un préfixe qui vaut 0 ou 1 selon l'origine de l'appel (0 pour un appel international ou 1 pour un appel dans la même zone géographique ou le même pays),
2. un code d'identification du réseau de données lui-même décomposé en un code du pays sur 3 chiffres et d'un numéro de réseau sur un chiffre. Pour la France, le code de Transpac vaut 2080. Dans l'exemple ci-dessus, le code de PSS est 2342 composé de 234 qui identifie le pays suivi de 2 qui désigne le réseau dans le pays,
3. un numéro d'abonné à 8 chiffres pouvant être complété par 2 chiffres d'adresse complémentaire. Le code d'identification du réseau plus le numéro d'abonné sur 8 chiffres forment un numéro national qui donne une adresse unique attribuée à un abonné donné qui permet son identification dans tout réseau accédé.

En définitive, l'exemple du BBS de PSS se décompose de la façon suivante :

2342 + 19201005 + 15

Les deux derniers chiffres (15) forment une sous-adresse. Ils sont optionnels et ne sont pas connus du réseau comme une adresse mais plutôt fournis par l'utilisateur pour permettre un adressage plus fin au sein de son organisation propre. Ces sous-adresses sont transparentes pour le réseau et peuvent permettre l'association d'un appel entrant avec un équipement ou une application particulière.

La figure 5.11 illustre une application possible du sous-adressage. Dans ce cas, l'utilisateur a permis l'accès à quatre imprimantes périphériques de l'ETTD. Ces imprimantes sont notées A, B, C et D. Les attachements ou *ports* associés sur l'ETTD sont numérotés différemment. Supposons que l'adresse de l'ETTD soit 208098765432. Les appels et données reçus avec l'adresse 20809876543201 seront orientés sur l'imprimante A. De la même façon, l'imprimante B recevra les données associées à l'adresse appelée 20809876543202. Le sous-

adressage permet l'accès sélectif à une imprimante laser ou à jet d'encre, monochrome ou couleur, lente ou rapide. Comme nous l'avons déjà souligné, on utilise souvent le sous-adressage pour accéder à différentes applications.

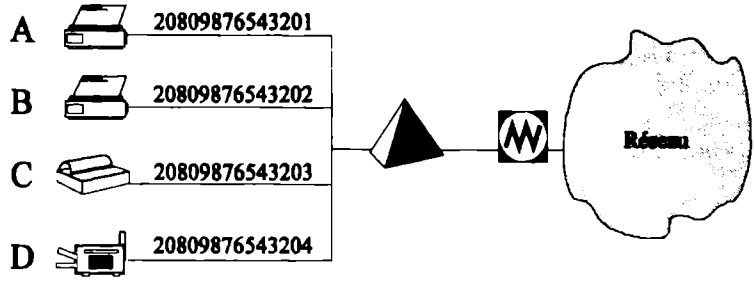


Figure 5.11 *- Les deux derniers chiffres de l'adresse peuvent être utilisés pour le sous-adressage. Ici, chaque imprimante est identifiée et accessible grâce à une sous-adresse différente (de 01 à 04).*

LES CHAMPS D'ADRESSE

Les champs d'adresse sont au nombre de trois et sont composés d'un nombre entier d'octets. Ils permettent la définition de :

1. L'adresse appelée.
2. L'adresse de l'appelant.
3. Les longueurs de ces deux premiers champs.

Le premier octet est appelé champ longueurs des adresses où chacune est codée sur un demi-octet. Cela permet d'obtenir des adresses sur 2^4 soit 16 demi-octets, ce qui est suffisant pour une adresse X.121. Les deux champs suivants contiennent l'adresse de l'ETTD appelant suivi de celle de l'ETTD appelé.

Le champ services complémentaires

Ce champ contient des paramètres optionnels sélectionnés ou demandés par l'appelant lorsqu'il émet sa demande d'appel. Un exemple représentatif est donné par une demande d'appel avec *taxation au demandé*. C'est l'équivalent d'un appel téléphonique en P.C.V. pour lequel c'est la personne appelée qui supporte les frais de la communication. Cette facilité est souvent mise en œuvre sur les systèmes de courrier électronique accessibles par abonnements. C'est alors le centre serveur qui paie les charges liées à la communication par ailleurs couvertes par les montants des souscriptions.

Le chapitre suivant décrira les services complémentaires disponibles avec X.25 dont certains peuvent être assez sophistiqués.

Les paquets de confirmation d'appel

Ces deux paquets signalent que l'ETTD appelé a accepté l'appel. En maintenant le parallèle avec le téléphone, on peut dire que *communication acceptée* est équivalent à l'action de décrocher sur le téléphone distant. L'ETTD appelé envoie un paquet *communication acceptée* qui sera transmis à l'ETTD appelant sous la forme d'un paquet *communication établie*. Après que cet appel ait été accepté, le transfert de données peut commencer dans les deux sens.

Cette cinématique est décrite par la figure 5.9 précédente.

FORMAT DES PAQUETS DE CONFIRMATION D'APPEL

Le format des paquets de confirmation d'appel donné en figure 5.12 contient les trois octets communs à tous les paquets, c'est-à-dire l'identificateur général de format, le numéro de voie logique et l'identifiant de type de paquet. Les champs d'adresse, des services complémentaires et des données utilisateur sont optionnels. Le champ données utilisateur n'est présent que si la facilité sélection rapide est mise en œuvre. Dans ce cas, ce champ pourra contenir jusqu'à 128 octets de données utilisateur.

Le numéro de voie logique du paquet appel accepté est déterminé par le réseau alors que celui du paquet communication établie est identique au numéro de voie logique attribué lorsque l'ETTD appelant a effectué sa demande.

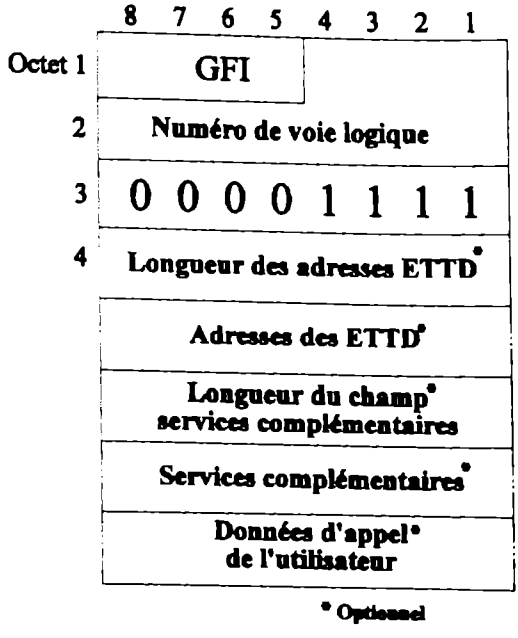


Figure 5.12 *- Le format des paquets de confirmation d'appel et de communication établie.*

Les paquets de libération

REFUS D'UN APPEL ENTRANT

Lors d'un appel téléphonique, il se peut que le correspondant distant n'ait pas envie de répondre. Avec X.25, l'ETTD distant (celui de droite sur la figure 5.13) retournera une *demande de libération* vers son ETCD associé. Cette demande est transmise à travers le réseau et est délivrée à l'ETTD appelant sous la forme d'un paquet *d'indication de libération*. L'ETCD distant acquittera la demande de libération par un paquet de confirmation de libération comme le montre la figure 5.13.

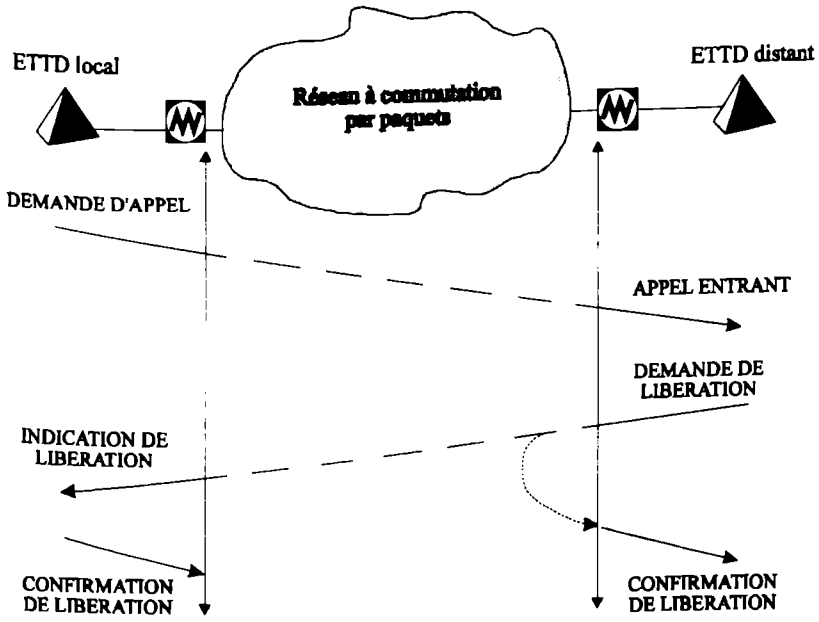


***Figure 5.13** - Appel refusé par l'ETTD distant.*

LIBERATION EN COURS D'ETABLISSEMENT DE CIRCUIT VIRTUEL

Si le réseau désire annuler un appel en cours, il retournera vers l'ETTD appelant un paquet d'indication de libération qui devrait être acquitté par l'ETTD avec un paquet de confirmation de libération (voir figure 5.14).

Si une demande d'appel et un appel entrant entrent en collision sur la même voie logique en essayant d'utiliser le même numéro de voie logique, l'ETCD qui reçoit l'appel entrant l'annulera pour donner la priorité à la demande d'appel.

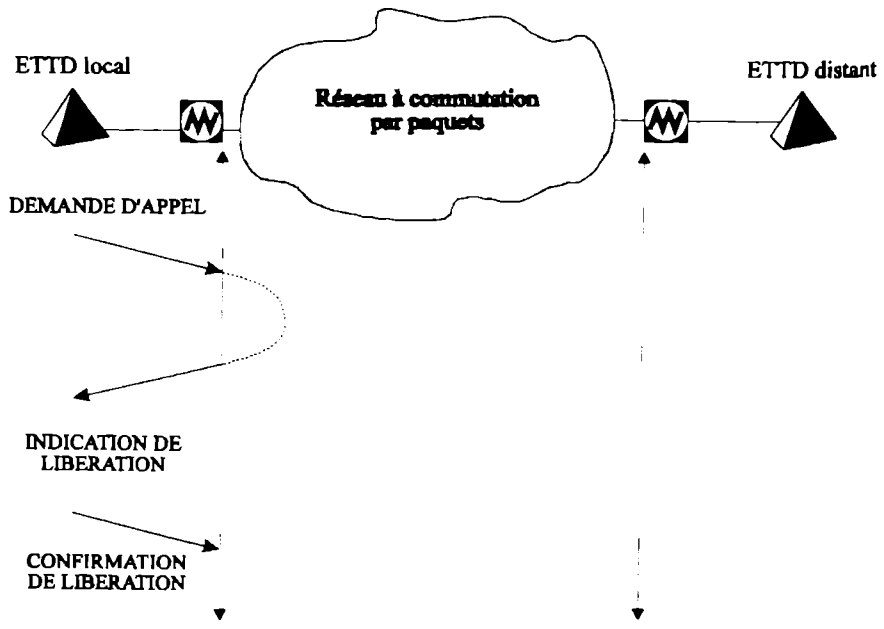


Figure 5.14 *- Communication non établie (appel infructueux).*

La phase de libération de la communication

Supposons que nos deux abonnés du téléphone aient fini de refaire le monde et qu'il désirent maintenant terminer leur conversation. En temps normal, ils respecteront le protocole en se saluant courtoisement plutôt que de raccrocher brutalement. C'est le même principe avec X.25 où la communication sera libérée par un des utilisateurs. Contrairement au téléphone, il est possible que ce soit le réseau à commutation par paquets qui soit à l'origine de la libération. Cela peut être dû à des problèmes techniques. Le réseau est alors contraint d'envoyer une indication de libération à chaque correspondant qu'il désire mettre hors communication.

On se souviendra qu'une libération ne s'applique qu'à une voie logique particulière et non pas à la ligne entière. La liaison est mise hors service par le niveau trame avec une commande DISC (voir chapitre précédent).

Libération par l'ETTD

Elle correspond à une situation normale au cours de laquelle un des utilisateurs désire terminer la communication ou raccrocher si on maintient l'analogie avec une conversation téléphonique. A la fin de cette dernière, un des correspondants dit « Au revoir, je raccroche ! ». Dans le cas d'une session X.25, l'ETTD émet un paquet de demande de libération vers l'ETCD qui sera délivré à l'ETTD distant sous la forme d'un paquet d'indication de libération. L'ETCD connecté à l'ETTD qui a

décidé de rompre la communication acquittera la demande de libération par une confirmation de libération. La figure 5.15 illustre tout cela clairement.

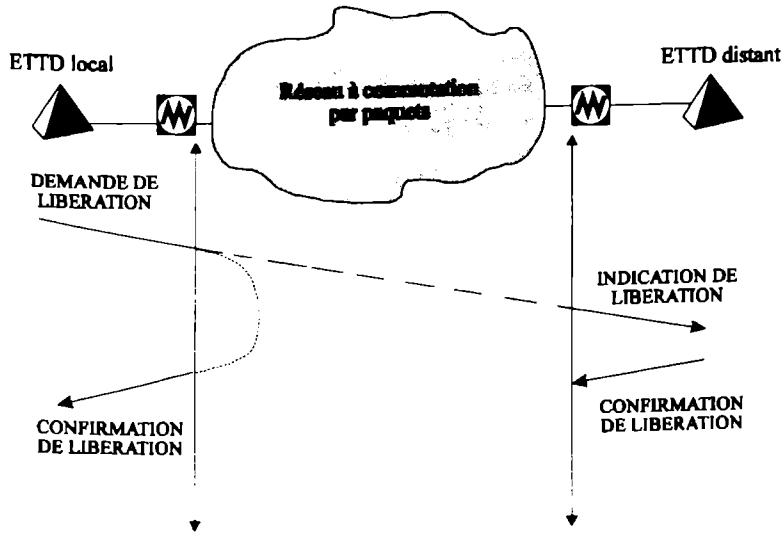


Figure 5.15 - Communication libérée par l'ETTD.

Libération par le réseau

Avec la figure 5.16, nous sommes en présence de la situation où le réseau est à l'origine de la rupture de la communication. Dans ce cas, il envoie un paquet d'indication de libération vers les deux ETTD que chacun acquittera avec un paquet de confirmation de libération.

Il faut bien remarquer ici que les paquets de confirmation de libération n'ont qu'une signification locale ; en d'autres termes, ils ne sont pas transmis sur le réseau. Dans certains réseaux, il est cependant possible que ces commandes de rupture de communication aient un sens de bout en bout et soient émises d'un ETTD jusqu'à son homologue distant. Il est également possible qu'un ETTD qui vient d'émettre une demande de libération reçoive des paquets pendant un laps de temps très court avant de recevoir la confirmation de libération de son ETCD adjacent. Cela peut provoquer une perte de données dans certains cas. C'est un cas d'anomalie traité dans le paragraphe suivant. On peut noter qu'un ETTD peut rompre une communication même s'il n'a pas reçu de paquet d'appel.

Le risque de perte de données

Les paquets de demande de libération ne sont pas soumis au contrôle de flux et peuvent donc « doubler » des paquets de données valides. Il est donc primordial que la transmission de données se termine de façon

contrôlée avant qu'une demande de libération ne soit envoyée. Rappelez-vous qu'entre personnes civilisées, plutôt que raccrocher brutalement à la fin de communication, on termine la conversation de façon normalisée avec des formules traditionnelles avant de reposer le combiné.

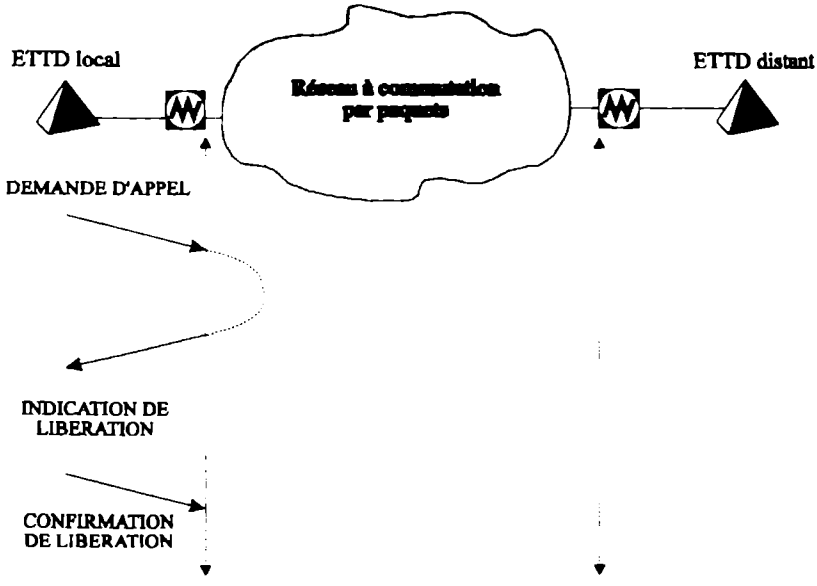


Figure 5.16 *- Communication libérée par le réseau.*

Les paquets de libération

Il y trois types de paquets de rupture de communication. Deux sont émis par l'ETTD alors que le troisième provient de l'ETCD.

1. *Demande de libération* est émis par l'ETTD lorsqu'il désire terminer une communication.
2. *Indication de libération* est généré par l'ETCD (le réseau) lorsqu'il veut rompre une communication. C'est le cas lorsque surviennent des problèmes d'exploitation sur le réseau.
3. *Confirmation de libération* vient de l'ETTD pour acquitter une indication de libération reçue du réseau.

Format des paquets de libération

La figure 5.17 montre le format des trois types de paquets de rupture de circuit virtuel. Le paquet de confirmation de libération est classique alors que les paquets de demande de libération et d'indication de libération contiennent deux nouveaux champs. Ce sont les champs *cause de libération* et *diagnostic de libération*. Détaillons ces trois paquets.

Tous contiennent les trois octets d'en-tête où l'identificateur général de format vaut généralement 0001, ce qui indique qu'on utilise une numérotation modulo 8. Le champ numéro de voie logique contient celui de la voie en cours de libération. Un format étendu peut éventuellement être utilisé. Il peut alors fournir adresses, services complémentaires et données utilisateur. La présence de ces champs est liée à l'utilisation du service complémentaire de sélection rapide. Nous reviendrons sur ces options pendant l'étude du chapitre suivant.

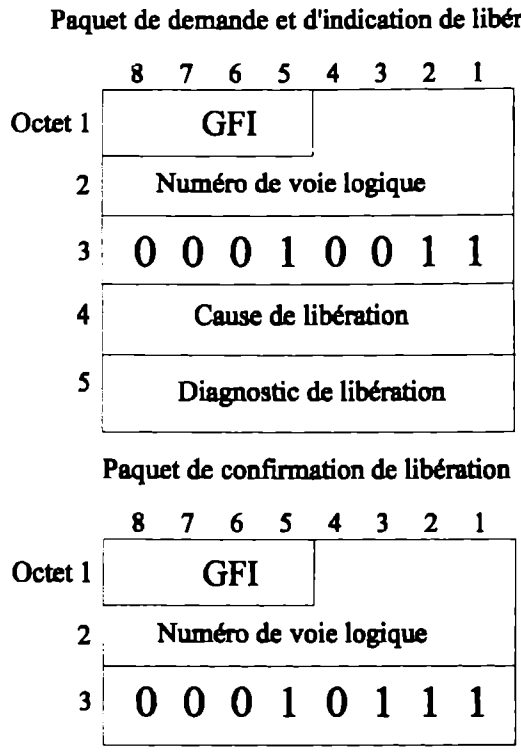


Figure 5.17 *- Le format des paquets de libération.*

Revenons sur les deux champs supplémentaires.

LE CHAMP CAUSE DE LIBERATION

Ce champ permet tout simplement d'indiquer à l'ETTD la cause de rupture de la communication. Lorsque l'ETTD prépare une demande de libération, il doit positionner tous les bits de ce champ à 0. Si cela n'est pas fait, l'ETCD émettra un paquet d'indication de libération.

Si le réseau est à l'origine de la libération, le champ cause de libération contient un octet qui indique la raison de la rupture dont certaines sont données dans le tableau 5.3 suivant.

Tableau 5.3 *- Le codage de la cause de libération dans les paquets d'indication de libération. Lorsque le bit 8 vaut 1, les bits représentés par des X sont positionnés par l'ETTD distant dans les champs cause de libération ou de reprise.*

Causes de libération	Bits							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Libération par l'ETTD	0	0	0	0	0	0	0	0
Libération par l'ETTD	1	X	X	X	X	X	X	X
Numéro occupé	0	0	0	0	0	0	0	1
Dérangement	0	0	0	0	1	0	0	1
Erreur de procédure distante	0	0	0	1	0	0	0	1
Refus de taxation au demandé	0	0	0	1	1	0	0	1
Destination incompatible	0	0	1	0	0	0	0	1
Refus de sélection rapide	0	0	1	0	1	0	0	1
Service complémentaire demandé invalide	0	0	0	0	0	0	1	1
Accès interdit	0	0	0	0	1	0	1	1
Erreur de procédure locale	0	0	0	1	0	0	1	1
Incident dans le réseau	0	0	0	0	0	1	0	1
Numéro d'abonné inconnu	0	0	0	0	1	1	0	1

LE CHAMP DIAGNOSTIC DE LIBERATION

Le champ diagnostic de libération est optionnel dans les paquets de demande de libération et d'indication de libération. Il apporte une information complémentaire sur la raison de la rupture de la communication. Si l'ETTD désire rompre la communication, il peut émettre une demande de libération avec l'octet du champ diagnostic de libération renseigné à une valeur qui apporte des détails sur la cause de rupture. Ce champ sera transmis de façon transparente à travers le réseau et sera délivré à l'ETTD distant dans le paquet d'indication de libération.

Il y a environ une soixantaine de codes de diagnostic décrits dans X.25. Ils sont donnés en annexe B.

La phase de transfert de données

C'est avec la phase de transferts des données que nous allons enfin pouvoir échanger des informations utilisateur à travers le réseau. C'est l'équivalent de la conversation lors d'un appel téléphonique. Supposons pour le moment que notre but est d'envoyer un simple message à un correspondant distant. Ces informations seront chargées dans le champ données utilisateur du paquet de données X.25. Ce champ de données est souvent de 128 octets, mais il est possible d'aller jusqu'à 4 096 octets, pourvu que la taille ait été négociée entre les correspondants.

La voie logique entre donc en phase de transfert de données après que le circuit virtuel ou la communication ait été établie entre deux ETTD (ou terminaux). Rappelez-vous qu'un circuit virtuel est en fait un *circuit virtuel commuté* ; c'est l'équivalent d'une connexion réalisée entre deux abonnés du téléphone qui sont reliés par une ligne commutée. Un circuit virtuel permanent (CVP) est toujours en phase de transfert de données car la communication entre les deux ETTD est continue. Cela serait identique à une connexion téléphonique constante par ligne louée grâce à laquelle les deux correspondants seraient toujours en communication.

Structure d'un paquet de données X.25

La structure d'un paquet de données X.25 est détaillée en figure 5.18. Les trois premiers octets de l'en-tête d'un paquet de données sont bien connus puisque déjà souvent rencontrés dans les paragraphes précédents. Il s'agit de l'identificateur général de format (le GFI), du numéro de voie logique et de l'identifiant du type de paquet. Le GFI est composé des 4 bits QD01, où Q est le bit qualificateur de données et D le bit d'acquittement de bout en bout.

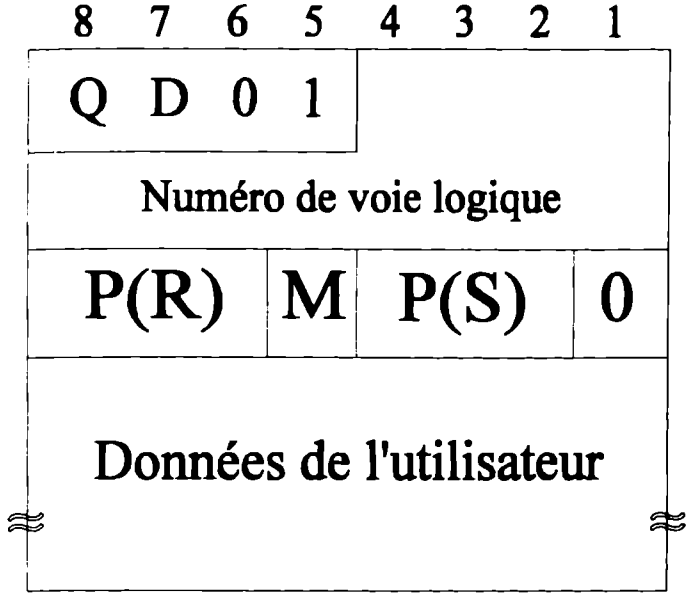


Figure 5.18 *- La structure d'un paquet de données X.25.*

Précisons maintenant la signification de trois bits particuliers qui composent ce paquet de données et dont le rôle est relativement important. Le bit M est notamment capital dès lors qu'il faut transporter de grands messages de données.

Le bit Q

Si ce bit est positionné à 0, le champ de données utilisateur contient des informations à l'attention du correspondant distant. C'est le cas avec notre exemple où Q=0 et où le champ de données contient un message standard issu de l'utilisateur ou de l'application. Lorsque Q vaut 1, le champ de données contient des informations de contrôle de niveau supérieur. Un exemple de données transmises avec le bit Q positionné est donné par les messages de contrôle X.29 rencontrés lors de l'utilisation d'un PAD (Assembleur/désassembleur de paquet) sur lesquels nous reviendrons au chapitre 7. Ce bit est aussi utilisé dans le contexte IBM lorsque l'on utilise SNA au-dessus de X.25. Les messages de contrôle de SNA sont alors véhiculés dans des paquets de données avec bit Q positionné ; on parle alors de la procédure QLLC au lieu de HDLC.

Le bit D

Comme nous l'avons déjà vu pour les paquets d'appel, le bit D est positionné à 0 si les acquittements sont gérés localement. Il prend la valeur 1 pour les acquittements entre ETTD distants aussi appelés acquittements de bout en bout.

L'ETTD peut choisir de positionner le bit D pour un paquet particulier ou pour tous les paquets. Cette dernière option augmente la sécurité des échanges mais présente l'inconvénient d'allonger les temps de transfert.

Le bit M

Le bit n°5 du troisième octet est appelé *bit données à suivre* (bit *More* en anglais). Il permet de délimiter les messages souvent constitués de longues séquences d'octets qui ne peuvent pas tenir dans un seul paquet. Dans le cas le plus fréquent, un paquet de taille 128 pourra transporter au maximum un texte de 128 caractères ASCII. Lorsque ce bit est à 1, cela indique que le prochain paquet envoyé est la suite logique des données contenues dans le paquet courant. Le bit M peut aussi être positionné par le réseau si celui-ci a tronqué un paquet de grande taille en plusieurs paquets de taille inférieure.

Un exemple d'utilisation du bit M est donné en figure 5.19.

La numérotation séquentielle des paquets

Le troisième octet d'un paquet de données contient deux champs notés P(R) et P(S) et appelés *numéros de séquence* du niveau paquet. Il est clair que la numérotation des paquets est une nécessité. La méthode employée ici est identique à celle utilisée par le niveau trame, mais il faut bien remarquer que ces deux systèmes de numérotation sont indépendants.

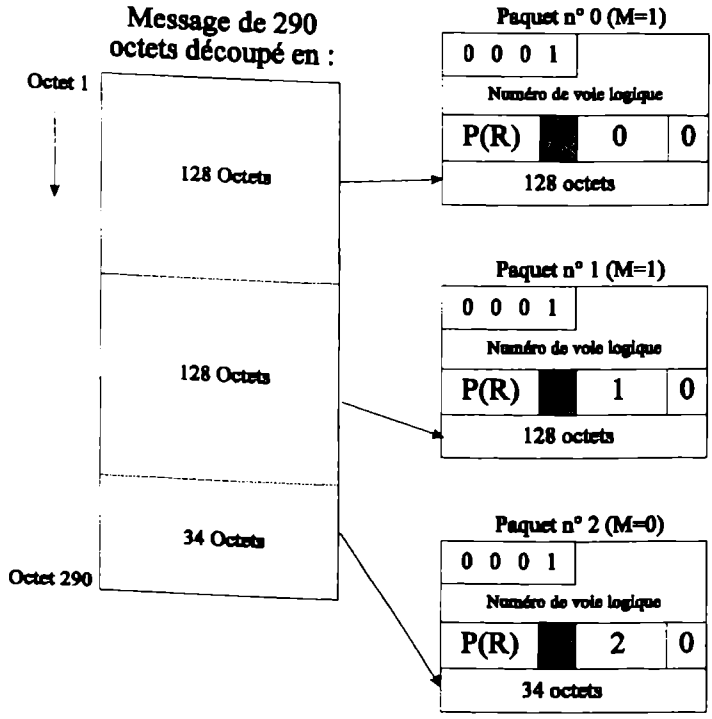


Figure 5.19 *- Utilisation du bit M. Un message de 290 caractères est transporté en trois paquets. Le bit M est positionné à 1 dans les paquets 0 et 1 pour indiquer qu'il y a encore des données à venir pour compléter le message.*

Le numéro de séquence en réception P(R) indique le numéro du prochain paquet attendu par le correspondant distant. Le numéro de séquence en émission P(S) est le numéro du prochain paquet à envoyer.

On attribue à chaque paquet un numéro de séquence compris entre 0 et 7. Une exemple simple de numérotation des paquets est donné par la figure 5.20 où nous supposons que la demande d'appel a abouti sans que les correspondants n'aient encore échangé le moindre paquet de données. P(S) et P(R) valent donc 0. L'utilisateur local émet un paquet de données avec P(S)=0 et incrémente son propre compteur P(S) qui passe à 1. L'ETTD distant s'attend à recevoir un paquet n°0 correspondant à son P(R) ; si c'est le cas, il incrémente son compteur P(R) qui vaut maintenant 1. Par contre, s'il ne veut pas accepter ce paquet, il peut envoyer un paquet de rejet en signifiant le numéro de séquence attendu. Il faut noter que ce système fonctionne dans les deux sens de façon symétrique.

Il existe la possibilité de compter en modulo 128 (paquets numérotés de 0 à 127) au lieu de 8 (de 0 à 7). Si cette option est mise en œuvre, le bit n°6 du GFI vaut 1.

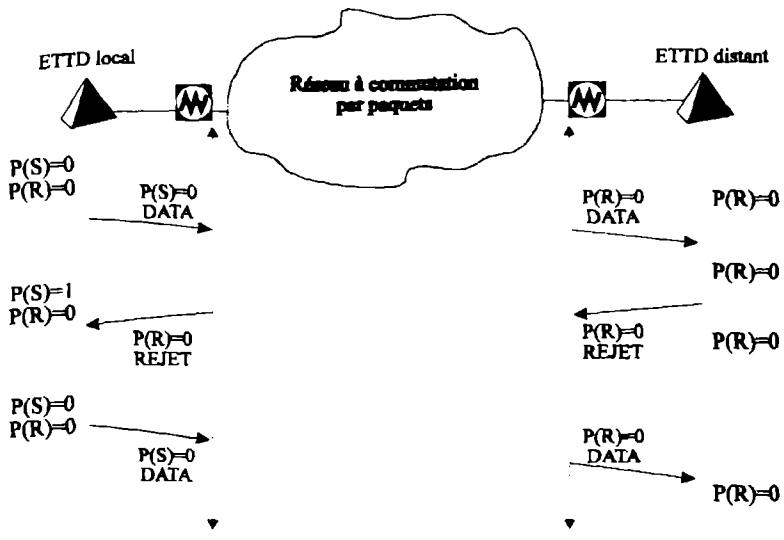


Figure 5.20 *- L'utilisation des numéros de séquence P(R) et P(S). L'ETTD distant peut demander la réémission de paquets en envoyant un REJET avec P(R) positionné au numéro du premier paquet à retransmettre.*

LA TAILLE DE LA FENETRE

Pour l'instant, nous avons seulement suggéré le besoin d'acquitter les paquets envoyés sur le réseau. De plus, nous avons supposé que tout ETTD qui émet des paquets attendra un acquittement avant d'envoyer les suivants. En fait, grâce à X.25, on peut envoyer plusieurs paquets avant de recevoir un acquittement. Ce nombre est appelé fenêtre paquet et est généralement compris entre 1 et 7. La valeur par défaut est 2. Ce mécanisme permet d'optimiser le débit du réseau puisqu'on échange un nombre moindre d'acquittements. Ces acquittements peuvent être transportés par des paquets de contrôle ou de données. Rappelez-vous que les acquittements sont générés par l'émetteur qui reçoit un numéro de séquence en réception P(R) égal au nombre de paquets qu'il a transmis.

Contrôle de flux et retransmission

PAQUETS DE SUPERVISION

X.25 est une recommandation élaborée qui permet un contrôle de flux et la demande de retransmission. Ces fonctions sont réalisées par l'utilisation de trois paquets de supervision qui sont RR (Receive ready ou encore prêt en réception), RNR (Receive not ready ou pas prêt en réception) et REJ (Rejet). Les formats de ces trois paquets sont donnés en figure 5.21.

1. *Le paquet RR* : ce paquet sert simplement à indiquer que son émetteur est prêt à recevoir de nouveaux paquets. La valeur P(R) donne le numéro du prochain paquet attendu et permet l'acquittement des P(R-1) paquets précédemment reçus. On utilise un paquet RR lorsqu'un acquittement est demandé et qu'il n'y a pas de paquet de données à envoyer qui permettrait d'accuser la réception des paquets précédents.

2. *Le paquet RNR* : un paquet RNR est envoyé par l'ETCD pour avertir l'ETTD qu'il doit arrêter d'envoyer des paquets de données dès que possible. Ce paquet acquitte également la réception des paquets de numéro inférieur ou égal à P(R-1). Lorsque le flux de données redémarre, le premier paquet transmis est tel que P(S) est égal au P(R) envoyé avec le paquet RNR.

3. *Le paquet REJ* : le paquet REJ est utilisé uniquement par l'ETTD pour demander une retransmission d'un ou plusieurs paquets de numéros consécutifs et commençant par le paquet dont le numéro est égal au P(R) envoyé avec le paquet REJ.

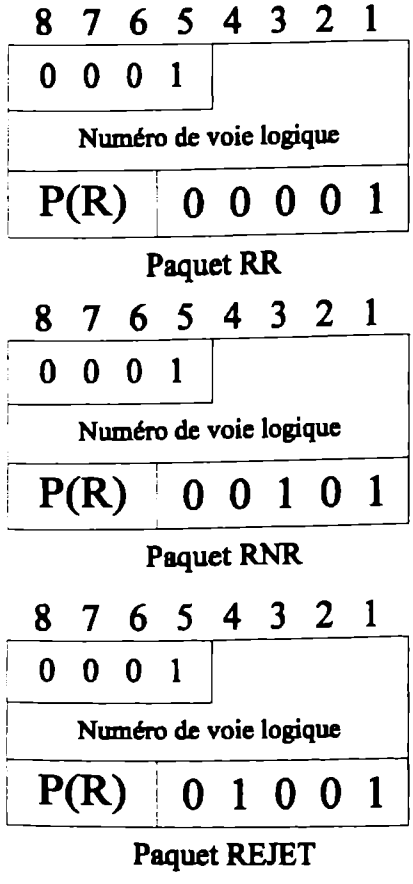


Figure 5.21 *- La structure des paquets de supervision RR, RNR et REJ.*

MECANISME D'INTERRUPTION

La délivrance ordonnée des paquets peut parfois poser quelques problèmes heureusement résolus grâce à l'utilisation des paquets d'interruption. Imaginons, par exemple, une situation où les paquets de données aient été envoyés sans que les acquittements correspondants ne soient reçus de la part du correspondant distant. Cependant, il n'y a pas de raison de penser qu'il y ait un problème réseau. Dans un tel cas de figure, l'ETTD est coincé. Il est incapable d'envoyer de nouveaux paquets pour tenter de savoir ce qui se passe puisqu'il est toujours en attente de l'acquittement des paquets de données précédents.

Il est possible de réinitialiser le circuit en utilisant un mécanisme que nous allons présenter dans la paragraphe suivant. Malheureusement, cette méthode porte bien son nom car elle remet à zéro les numéros de séquence, ce qui pourrait entraîner la perte de paquets de données non acquittés coincés dans le système. Le paquet d'interruption peut éviter la réinitialisation de la communication et c'est une façon astucieuse de se sortir de certaines situations critiques.

Un paquet d'interruption n'a pas de numéro de séquence, n'est pas soumis aux règles de contrôle de flux et peut être transmis comme paquet prioritaire. L'interruption double alors tous les paquets de données qui sont ralentis et non encore délivrés à leur destinataire sans que cela affecte l'état de la communication. Cette possibilité d'interruption est un exemple significatif du degré de sophistication des procédures de la recommandation X.25.

Le format des paquets d'interruption et de confirmation d'interruption est donné en figure 5.22. Le paquet d'interruption est composé de quatre champs ; le quatrième étant un champ de données utilisateur. Les informations de ce champ sont transparentes pour le réseau et sont ainsi transmises vers le correspondant distant. Les données d'interruption de l'utilisateur peuvent contenir un code d'interruption pré-défini ou des informations libres pouvant aller jusqu'à 32 octets.

Seule la réception d'un acquittement sous la forme d'un paquet de confirmation d'interruption permet de poursuivre l'envoi de paquets supplémentaires.

PROCEDURES DE REINITIALISATION D'UN CIRCUIT VIRTUEL

Il peut être nécessaire de réinitialiser le contrôle de flux ou la numérotation en séquence des paquets pendant la phase de transfert de données sur un circuit donné (un CVC ou un CVP). La réinitialisation peut être provoquée, soit par l'ETTD, soit par l'ETCD. Elle peut avoir une signification locale ou de bout en bout selon l'option choisie.

Le mécanisme de réinitialisation est un moyen quasiment désespéré pour sortir d'une situation d'erreur et devrait être employé avec grande prudence. Les compteurs P(R) et P(S) sont remis à zéro et tous les paquets de données non encore acquittés (ceux qui sont en cours d'émission) seront détruits par le réseau.

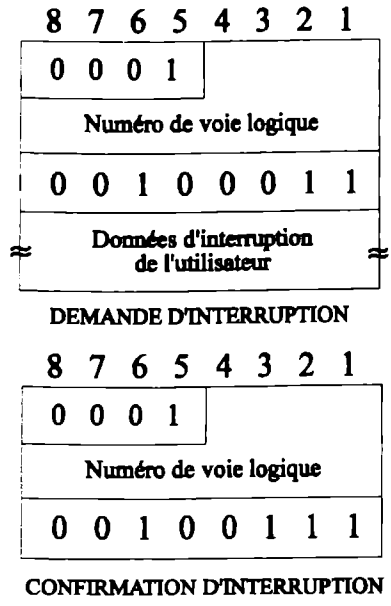


Figure 5.22 *- La structure des paquets d'interruption.*

- Réinitialisation provoquée par l'ETTD.

Si un ETTD désire réinitialiser le circuit, il émet un paquet de demande de réinitialisation vers le réseau avec une cause et un diagnostic liés à sa demande. Cette dernière sera acquittée par l'ETCD à l'aide d'un paquet de confirmation de réinitialisation. L'ETTD distant recevra un paquet d'indication de réinitialisation du réseau qui sera acquitté par une confirmation de réinitialisation (voir figure 5.23).

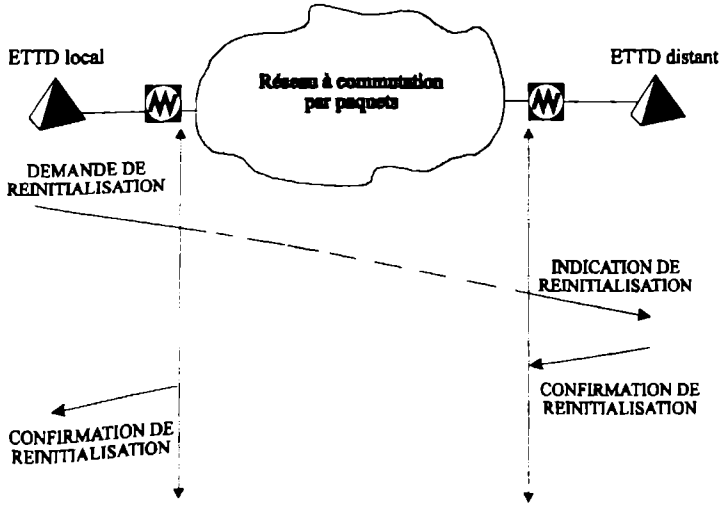


Figure 5.23 *- Réinitialisation provoquée par l'ETTD.*

• Réinitialisation provoquée par l'ETCD.

Si le réseau désire provoquer une réinitialisation, il transmettra un paquet d'indication de réinitialisation vers les deux ETTD. Ceux-ci seront acquittés par des paquets de confirmation de réinitialisation (voir figure 5.24).

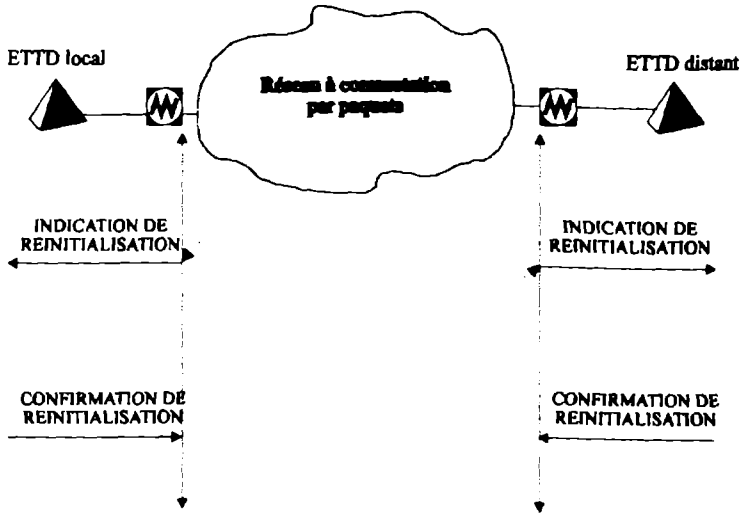
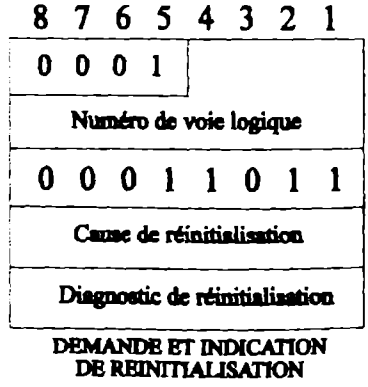


Figure 5.24 - Réinitialisation provoquée par le réseau.

La figure 5.25 présente les formats des paquets de demande et d'indication de réinitialisation d'une part et du paquet de confirmation de réinitialisation d'autre part. Le GFI vaut 0001 pour une numérotation modulo 8. Le champ suivant indique le numéro de voie logique. L'identification du type de paquet est 00011011 dans le premier cas (demande et indication) et 00011111 pour le second (confirmation).

Bien évidemment, il faudra indiquer la cause de la réinitialisation. C'est ce que permet le quatrième champ qui vaut 0 si la réinitialisation a pour origine l'ETTD ; il aura une valeur non nulle si ce n'est pas le cas. L'ETTD peut compléter ce champ par un octet de diagnostic qui fournira à l'ETTD distant des informations plus précises sur la raison de cette réinitialisation.



DEMANDE ET INDICATION DE REINITIALISATION

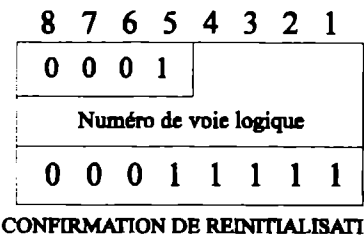


Figure 5.25 *- La structure des paquets de réinitialisation.*

Le tableau 5.4 présente les causes possibles de réinitialisation provoquée par le réseau.

Tableau 5.4 *- Le codage des causes de réinitialisation. Lorsque le bit 8 vaut 1, les bits représentés par des X sont positionnés par l'ETTD distant.*

Causes de réinitialisation	Bits							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Réinitialisation par l'ETTD	0	0	0	0	0	0	0	0
Réinitialisation par l'ETTD	1	X	X	X	X	X	X	X
Dérangement	0	0	0	0	0	0	0	1
Erreur de procédure distante	0	0	0	0	0	0	1	1
Erreur de procédure locale	0	0	0	0	0	1	0	1
Incident dans le réseau	0	0	0	0	0	1	1	1
Fin de dérangement ETTD	0	0	0	0	1	0	0	1
Fin de dérangement réseau	0	0	0	0	1	1	1	1
Destination incompatible	0	0	0	1	0	0	0	1
Réseau hors service	0	0	0	1	1	1	0	1

PROCEDURES DE REPRISE (NIVEAU PAQUET)

Le format des paquets de reprise est donné par la figure 5.26. La procédure de reprise est utilisée pour libérer simultanément tous les circuits virtuels établis entre un ETTD et un ETCD. Cela veut dire qu'une reprise pourrait couper jusqu'à 4 096 communications. Ce mécanisme peut être utilisé n'importe quand ; il sert surtout à se récupérer après une panne importante de l'ETTD, du réseau ou de l'ETCD. Rappelez-vous qu'une reprise libère tous les circuits alors qu'une réinitialisation ne coupe qu'un circuit bien précis (voir figure 5.27).

La reprise est généralement utilisée lors de l'établissement du niveau paquet et permet de cette façon de réinitialiser l'ensemble de la ligne. Comme nous l'avons souligné, elle permet également de redémarrer après une panne importante.

8	7	6	5	4	3	2	1
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1
Cause de reprise							
Diagnostic de reprise							

DEMANDE ET INDICATION DE REPRISE

8	7	6	5	4	3	2	1
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1

CONFIRMATION DE REPRISE

Figure 5.26 - La structure des paquets de reprise.

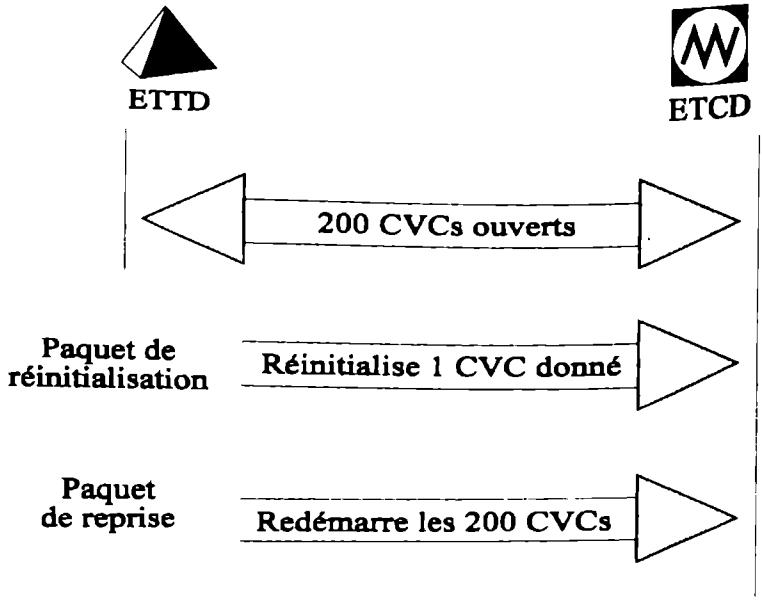


Figure 5.27 - La procédure de réinitialisation ne libère qu'un seul circuit virtuel alors que la reprise coupe tous les circuits d'une ligne.

• Reprise provoquée par l'ETTD.

Un ETTD provoquera une reprise en émettant un paquet de demande de reprise vers l'ETCD (figure 5.28). Cette demande sera acquittée par l'ETCD à l'aide d'un paquet de confirmation de reprise et transmettra immédiatement une indication de reprise vers les ETTD distants qui ont établi une communication avec l'initiateur de cette requête.

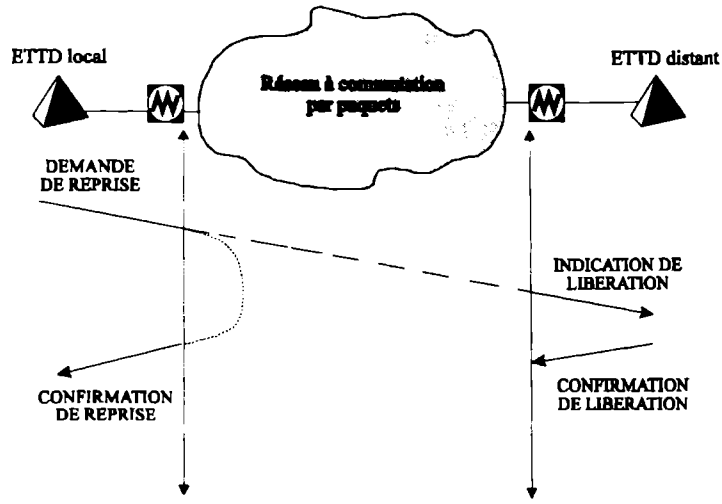


Figure 5.28 - Reprise provoquée par l'ETTD.

• Reprise provoquée par l'ETCD.

Une reprise peut être demandée par le réseau. Dans ce cas, il garantit que les ETCD concernés émettent une indication de libération vers les ETTD associés aux circuits virtuels en état de reprise (figure 5.29).

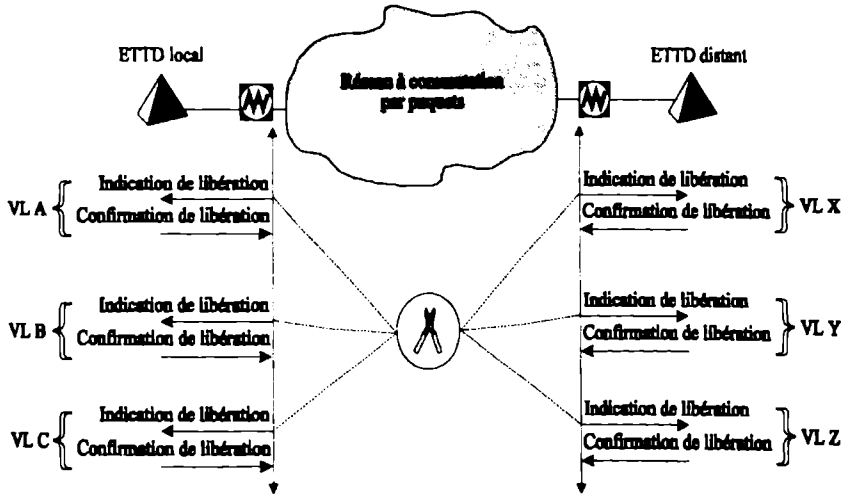


Figure 5.29 - Reprise provoquée par le réseau.

LE PAQUET DE DIAGNOSTIC

Le paquet de diagnostic présenté en figure 5.30 a un caractère optionnel et certains réseaux (PSS par exemple) ne l'utilisent pas. TRANSPAC le met en œuvre et il présente une alternative aux autres méthodes de réinitialisation lorsque celles-ci ont échoué ou qu'elles ne sont pas adaptées à la situation. Par exemple, on peut utiliser un paquet de diagnostic lorsqu'un ETTD a émis un paquet incorrect ou s'il a emprunté une voie logique non attribuée. Les paquets de diagnostic sont toujours émis par les ETCD sur la voie logique 0. L'ETTD n'a pas à acquitter un tel paquet.

Le quatrième champ contient le diagnostic suivi d'éventuelles informations complémentaires. On trouvera en annexe B une liste d'environ soixante codes de diagnostic inspiré de l'annexe E de la recommandation X.25 de 1984. En voici deux exemples :

Type de paquet invalide	00010000
Voie logique invalide	00100100

Quand le paquet de diagnostic résulte de la réception d'un paquet invalide, le champ d'informations complémentaires contient les trois premiers octets du paquet en question. Si le paquet de diagnostic est émis après l'expiration d'un temporisateur, ce champ contient deux octets qui se décomposent de la façon suivante :

Les bits 8, 7, 6, 5 du premier octet valent 0001.

Les bits 4, 3, 2, 1 du premier octet et le second octet contiennent le numéro de voie logique sur laquelle l'expiration de temporisation de surveillance (si ce sont les temporisateurs T12 ou T13) est survenue. Ils contiendront la valeur 0 si c'est le temporisateur T10 qui a expiré (non confirmation d'une indication de reprise).

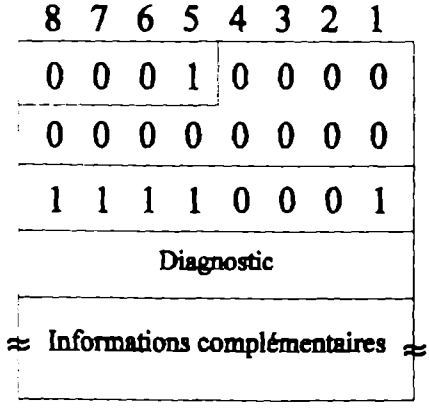


***Figure 5.30** - La structure du paquet de diagnostic.*

LES TEMPORISATEURS UTILISES DANS X.25

Les temporisateurs sont d'un usage courant en télécommunication. Ils peuvent servir à plusieurs choses, et notamment à initialiser une procédure de reprise en cas d'erreur. Dans le cas de la téléphonie, un bon exemple est fourni par le temporisateur qui annule la tonalité lorsque le combiné a été mal raccroché. Avec X.25, les temporisateurs sont regroupés en deux classes associées à l'équipement qui les déclenche et les surveille. Un temporisateur géré par l'ETCD est la durée maximum accordée à l'ETTD pour qu'il réalise une certaine action. Attention cependant aux implémentations variables selon les réseaux ! Le tableau 5.5 dresse la liste des temporisateurs les plus fréquents avec les valeurs standards et les actions prises en cas d'expiration.

Tableau 5.5 *- Les temporisateurs utilisés au niveau paquet.*

Temporisateur	Fonction	Durée (sec.)	Action prise si expiration
(a) gérés par l'ETCD	Réponse à :		Envoi d'un paquet de :
T10	Indication de reprise	60	Diagnostic
T11	Appel entrant	180	Libération
T12	Indication de réinitialisation	60	Libération
T13	Indication de libération	60	Diagnostic
(b) gérés par l'ETTD	Réponse à :		
T20	Demande de reprise	180	Reprise (retransmission)
T21	Demande d'appel	200	Libération
T22	Demande de réinitialisation	180	Libération
T23	Demande de libération	180	Libération (retransmission)

Auto-évaluation

1. Quelle est la différence majeure entre le niveau paquet et les deux couches inférieures de X.25 ?

2. Citer les cinq fonctions principales du niveau paquet

3. A quoi servent les voies logiques ? Quelle est la portée de leur signification dans le réseau ?

4. Nommer le type de trame utilisée pour transporter les paquets de données.

6. Quelles sont les fonctions des bits Q et D ?

7. Donner les six catégories différentes de types de paquets.

8. Quelles sont les trois phases principales de l'établissement d'une communication ?

9. Donner les composants d'une adresse réseau d'un abonné.

10. Dresser la liste des différents types de paquets de libération.

11. Expliquer le terme « fenêtre ». Donner ses valeurs par défaut, minimum et maximum.

12. Qu'est-ce qu'un paquet d'interruption et comment est-il utilisé ?

13. Expliquer la différence entre *réinitialisation* et *reprise*.

CHAPITRE 6

LES SERVICES COMPLEMENTAIRES X.25

Qu'est-ce qu'un service complémentaire ?

Les services complémentaires X.25 sont des facilités offertes aux utilisateurs qui ne désirent pas seulement transmettre des données de façon rapide en s'affranchissant des erreurs de communication. Dans la terminologie de la recommandation X.25, les services complémentaires sont référencés comme des options. On peut encore trouver ici une analogie intéressante avec le réseau téléphonique. A l'origine très simples, les possibilités offertes par le téléphone sont de plus en plus variées ; un bon exemple est donné par la taxation au demandé plus connue en France sous le nom d'appel « en PCV ». C'est l'exemple type de service complémentaire fourni par le réseau téléphonique.

Certains services complémentaires du réseau téléphonique sont liés à l'abonnement alors que d'autres ne sont valides que le temps d'un appel donné. En d'autres termes, les services complémentaires sont accordés lors de la signature du contrat avec l'opérateur du téléphone ou sont mis en œuvre à chaque appel. Les services complémentaires disponibles avec la recommandation X.25 suivent la même logique. Il est possible d'émettre un appel téléphonique de Londres à New York qui traverse plusieurs réseaux différents ; le réseau d'arrivée peut très bien offrir certains services complémentaires sans qu'ils soient disponibles sur celui de départ. Au niveau international, les compagnies et opérateurs du téléphone sont tenus de supporter certains services complémentaires qui sont déclarés comme *obligatoires*. Par contre, d'autres services sont *facultatifs* bien que normalisés au niveau mondial. Enfin, certains services complémentaires peuvent être réservés aux seuls abonnés d'un réseau téléphonique particulier ; ils sont dits *dépendants du réseau*.

La plupart des services complémentaires offerts par X.25 se passent de commentaires car leur appellation est suffisamment explicite. Certains autres demandent quelques explications. On peut citer deux exemples significatifs comme *la taxation au demandé* qui semble être un service complémentaire clairement défini, et la *modification du bit D* dont la compréhension n'est pas vraiment immédiate pour tout le monde. Ces différents services complémentaires sont mis en œuvre par le codage du champ service complémentaire dans le paquet de demande d'appel. Celui-ci sera reçu par le correspondant distant sous la forme

d'un paquet d'appel entrant. Si aucun service complémentaire n'est demandé, le champ associé peut être absent. Nous verrons le format détaillé de ce champ dans la suite du chapitre.

On classe les services complémentaires X.25 en quatre groupes ou classes :

1. Les services complémentaires de niveau international définis dans la recommandation X.2 du CCITT. Ils sont définis en deux classes : essentiels et optionnels. Les services essentiels sont obligatoires sur tous les réseaux de transmission de données publics alors que les services optionnels ne seront pas disponibles sur tous les réseaux.

2. Les services complémentaires disponibles seulement sur le réseau sur lequel réside l'appelant. On l'appelle souvent le réseau appelant.

3. Les services complémentaires disponibles seulement sur le réseau où est raccordé l'appelé. On l'appelle le réseau appelé.

4. Les services complémentaires pour l'ETTD spécifiés par le CCITT. Ils sont apparus lors de l'élaboration de la recommandation X.25 de 1984. On les appelle les services complémentaires de niveau national.

Les services complémentaires du quatrième groupe permettent à un ETTD de demander certains services particuliers de la part de l'ETTD distant appelé. Cette catégorie de services complémentaires sera détaillée lors du prochain chapitre.

La possibilité de mettre en œuvre les services complémentaires des deux premiers groupes peut être demandée soit lors de la signature du contrat d'abonnement avec l'opérateur du réseau, soit à l'émission de chaque appel.

Le tableau 6.1 dresse la liste des services complémentaires disponibles sur des circuits virtuels commutés ou permanents. Le tableau 6.2 montre le codage du champ services complémentaires et les types de paquet où on peut l'utiliser.

La mise en œuvre des services complémentaires

On doit se souvenir que ces services complémentaires ne sont disponibles qu'au niveau paquet. Les services complémentaires X.25 sont mis en œuvre dès que la *longueur du champ services complémentaires* est renseignée dans le paquet de demande d'appel. C'est le champ qui suit immédiatement celui qui contient les adresses des deux correspondants. Le champ *longueur du champ services complémentaires* est toujours présent et indique la longueur effective du champ suivant (voir la figure 6.1) ; la longueur vaut 0 si le champ services complémentaires est absent et est inférieure ou égale à 63 qui correspond au nombre d'octets maximum de ce champ.

Tableau 6.1 *- Les services complémentaires X.25.*

Services complémentaires	CVC	CVP
(a) Optionnels et accordés pour une période contractuelle		
Barrage pour appels sortants	E	
Barrage pour appels entrants	E	O
Voie logique spécialisée départ	E	
Négociation des paramètres de contrôle de flux	E	
Groupes fermés d'abonnés (GFA)	E	
Acceptation de la sélection rapide	E	
Négociation des classes de débit	E	
Abonnement dynamique	O	
Numérotation des trames étendue	O	O
Numérotation des paquets étendue	O	O
Modification du bit D	O	O
Retransmission de paquets	O	O
Voie logique spécialisée arrivée	O	
Longueur de paquet par défaut non standard	O	O
Taille de fenêtre par défaut non standard	O	O
Acceptation de la taxation au demandé (TAD)	O	
Identification de l'utilisateur réseau (NUI)	O	
Transfert d'appel	O	O
Classes de débit par défaut	O	O
GFA avec appels sortants	O	
GFA avec appels entrants	O	
Restriction sur appels sortants au sein d'un GFA	O	
Restriction sur appels entrants au sein d'un GFA	O	
GFA bilatéral	O	
GFA bilatéral avec appels sortants	O	
(b) Optionnels et demandés à chaque appel		
Choix d'un GFA	E	
Négociation des paramètres de contrôle de flux	E	
Sélection rapide	E	
Négociation de la classe de débit	E	
Choix et indication du délai de transit	E	
Choix d'un GFA bilatéral	O	
Taxation au demandé (TAD)	O	
Notification du transfert d'appel	O	
Identification de l'utilisateur réseau (NUI)	O	
Choix d'un GFA sortant	O	

CVC = Circuit virtuel commuté - CVP = Circuit virtuel permanent
E = Essentiel (ou obligatoire) - O = Optionnel

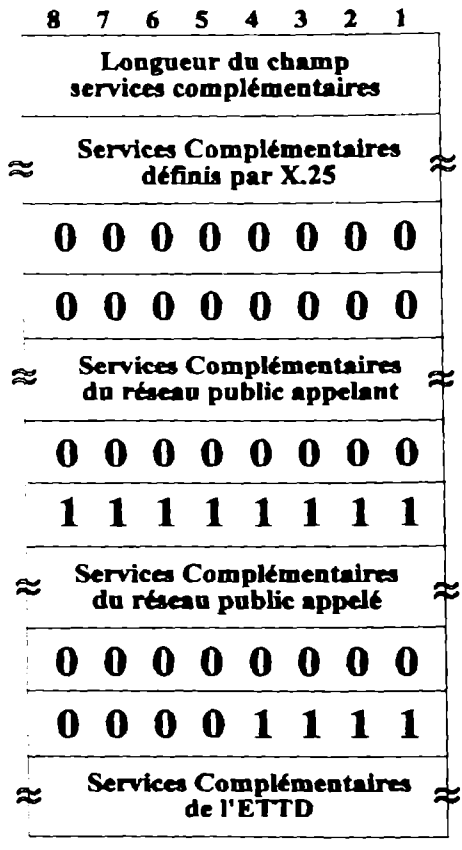


Figure 6.1 *- Le champ services complémentaires contenu dans le paquet de demande d'appel X.25.*

Seuls les six premiers bits sont utilisés pour construire cette longueur : les deux derniers bits sont positionnés à 0. Un service complémentaire est composé d'un code et d'un champ paramètre. On a associé à chaque service complémentaire un code construit sur un octet de la façon suivante : les bits de poids fort (bits n° 7 et 8) indiquent le nombre d'octets qui constituent le champ paramètre qui suit et les bits 1 à 6 spécifient le service complémentaire lui-même (voir figure 6.2). Les valeurs possibles pour la longueur du champ paramètre sont :

00 - Le champ paramètre est constitué d'un octet. Nous sommes en présence d'un service complémentaire de *classe A*.

01 - Le champ paramètre est constitué de deux octets. Nous sommes en présence d'un service complémentaire de *classe B*.

10 - Le champ paramètre est constitué de trois octets. C'est un service complémentaire de *classe C*.

11 - Il y plus de trois octets dans le champ paramètre. Ce service complémentaire de longueur variable appartient à la *classe D*. L'octet qui suit le code indique alors la longueur en octets du champ paramètre.

Tableau 6.2 *- Le codage des services complémentaires X.25.*

Service Complémentaire	DA	AE	CA	CE	IL	code sur 8 bits
Négociation des paramètres de contrôle de flux - Longueur de paquet - Taille de fenêtre	X	X	X	X		 01000010 01000011
Négociation des classes de débit	X	X	X	X		00000010
Choix d'un GFA - Format de base - Format étendu	X	X				 00000011 01000111
Choix d'un GFA avec accès sortant - Format de base - Format étendu	X	X				 00001001 01001000
Choix d'un GFA bilatéral	X	X				01000001
Taxation au demandé (TAD)	X	X				00000001
Sélection rapide	X	X				00000001
Avis de transfert d'appel		X				11000011
Identification abonné (NUI)	X		X			11000110
Adresse d'appelé modifiée			X	X	X	
Avis de transfert d'appel		X				11000011
Choix et indication du délai de transit	X	X		X		 01001001

Légende : DA = Demande d'appel
AE = Appel entrant
CA = Communication acceptée
CE = Communication établie
IL = Indication de libération

Le codage des services complémentaires

Les services complémentaires sont codés en binaire. Les six bits de chaque code fournissent 64 codes possibles pour les quatre classes A, B, C et D. Ceci donne un total de 256 services complémentaires possibles.

Les marqueurs de services complémentaires

Un utilisateur peut vouloir invoquer des services complémentaires de catégories différentes, par exemple un service disponible sur son propre

— Photocopie non autorisée est un délit.

réseau et un second de niveau international. Dans un tel cas, le service complémentaire de niveau international spécifié par X.2 apparaît en premier, suivi des autres services complémentaires demandés. On peut voir en figure 6.3 qu'un marqueur de services complémentaires représenté par un octet à 0 binaire sert à séparer les champs associés aux réseaux appelant et appelé. L'octet immédiatement après le marqueur permet de différencier les services complémentaires de ces deux réseaux. Si ce champ est à 0 binaire, les valeurs suivantes sont associées au réseau public national appelant. Si tous les bits de ce champ sont à 1, les services complémentaires sont relatifs au réseau public sur lequel est connecté l'ETTD appelé.

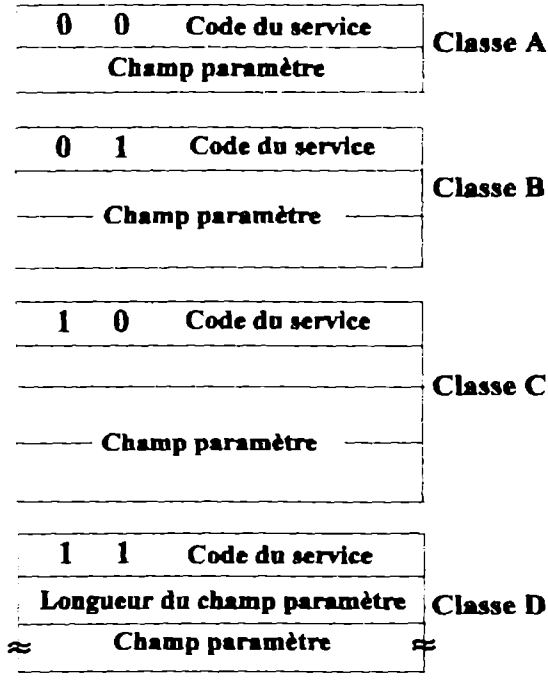


Figure 6.2 - Structure des quatre classes de services complémentaires.

Description des services complémentaires disponibles

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, les services complémentaires sont divisés en deux groupes. Le premier impose que des paramètres d'abonnement aient été demandés lors du raccordement de l'utilisateur. Le second regroupe des services activés lors de l'établissement de la communication. A titre d'exemple, une tentative qui consiste à invoquer un service complémentaire du premier groupe sans avoir contracté l'abonnement adéquat se soldera par un échec. L'ETCD émettra un paquet d'indication de libération avec une cause de libération positionnée à *service complémentaire non souscrit.*

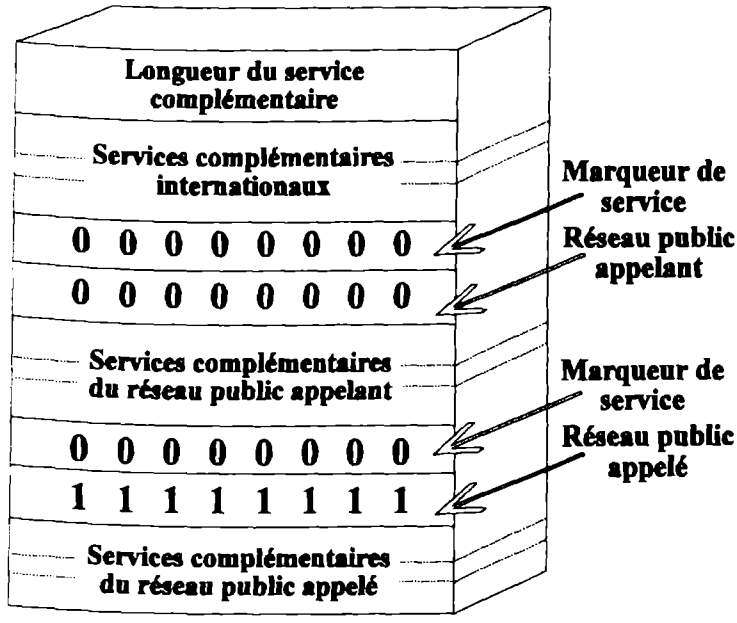


Figure 6.3 - Le format des marqueurs de services complémentaires.

Les services complémentaires présentés dans la suite ne sont pas donnés par ordre d'importance. En fait, ils suivent celui de la recommandation X.25 et leur ordre tend surtout à favoriser la bonne compréhension du lecteur plutôt que tout autre chose. On fera souvent référence au tableau 6.1 pour la distinction entre les deux catégories de services complémentaires.

La sélection rapide

La sélection rapide est un service complémentaire optionnel dont la mise en œuvre peut changer à chaque établissement de la communication. Il est assez significatif de la puissance de la recommandation X.25. Sur les systèmes traditionnels, les utilisateurs doivent normalement émettre un appel et recevoir une réponse ou un message indiquant que la transmission de données peut commencer. La sélection rapide permet aux utilisateurs d'inclure des données dans le paquet de demande d'appel. Cette possibilité est particulièrement intéressante dans le cas de contrôles à réaliser sur une transaction à partir d'une carte bancaire. Dans une telle application, une demande d'appel partira vers l'ordinateur du centre d'autorisation avec jusqu'à 128 octets de données dans le paquet associé. Ces données seront relatives à la transaction bancaire en cours et permettront au centre d'autorisation de prendre une décision face à la demande du client. La sélection rapide établit une communication rapide et performante ; elle peut être utilisée

avec les paquets demande d'appel, communication acceptée et demande de libération.

LA MISE EN ŒUVRE DE LA SELECTION RAPIDE

Le service complémentaire de sélection rapide utilise le même champ que la taxation au demandé que nous détaillerons ci-dessous. Le bit 8 positionné à 1 indique que la sélection rapide est active et le bit 7 vaut 1 si on a choisi la sélection rapide avec restriction sur la réponse et 0 dans le cas contraire. Avec la restriction sur la réponse, l'ETTD appelé doit libérer le circuit avec un paquet de demande de libération qui peut contenir jusqu'à 128 octets de données utilisateur. Il n'y a pas de contrainte sur la réponse dans le cas de la sélection rapide sans restriction sur la réponse.

Ces deux mécanismes impliquent deux modes de mise en œuvre de la sélection rapide. Le premier est la sélection rapide avec libération immédiate (avec restriction sur la réponse) et le second est la sélection rapide avec transfert de données (sans restriction sur la réponse). Nous allons maintenant développer ces deux méthodes grâce notamment aux figures 6.4 et 6.5.

LA SELECTION RAPIDE AVEC LIBERATION IMMEDIATE

La figure 6.4 présente une demande d'appel où le champ services complémentaires est codé de la façon suivante :

Bits	8	7	6	5	4	3	2	1
Valeur	1	1	0	0	0	0	0	0

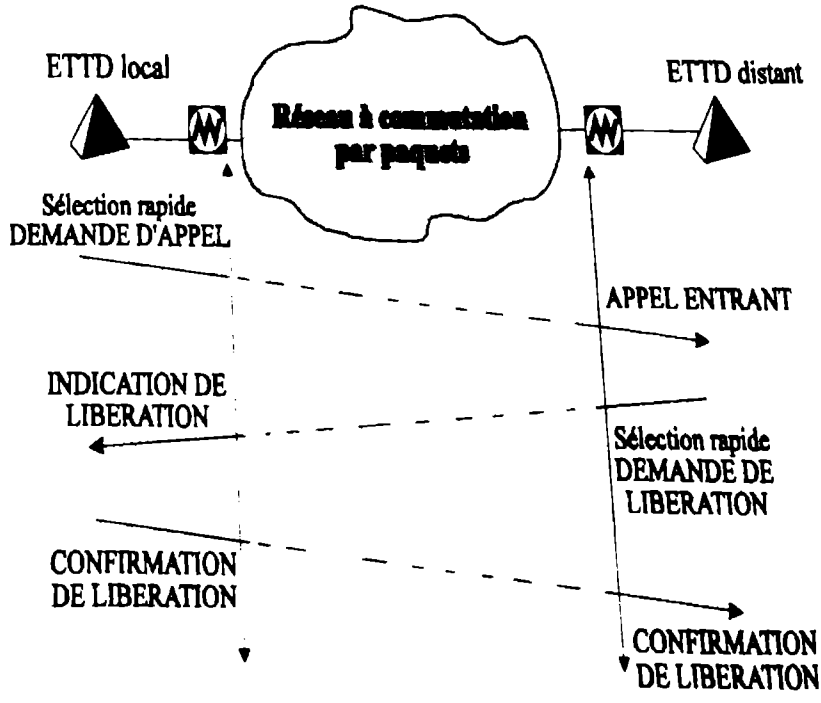


***Figure 6.4** - Sélection rapide avec libération immédiate.*

Le champ données utilisateur du paquet d'appel peut contenir jusqu'à 128 octets de d'information. Après réception d'un tel paquet, l'ETTD distant libérera la communication avec un paquet de demande de libération pouvant contenir lui aussi jusqu'à 128 octets de données utilisateur. Il y a acquittement de cette *transaction* avec la confirmation de libération venant de l'ETTD origine.

LA SELECTION RAPIDE AVEC TRANSFERT DE DONNEES

Dans la situation de la figure 6.5, le champ services complémentaires du paquet d'appel est codé sous la forme :

Bits	8	7	6	5	4	3	2	1
Valeur	1	0	0	0	0	0	0	0

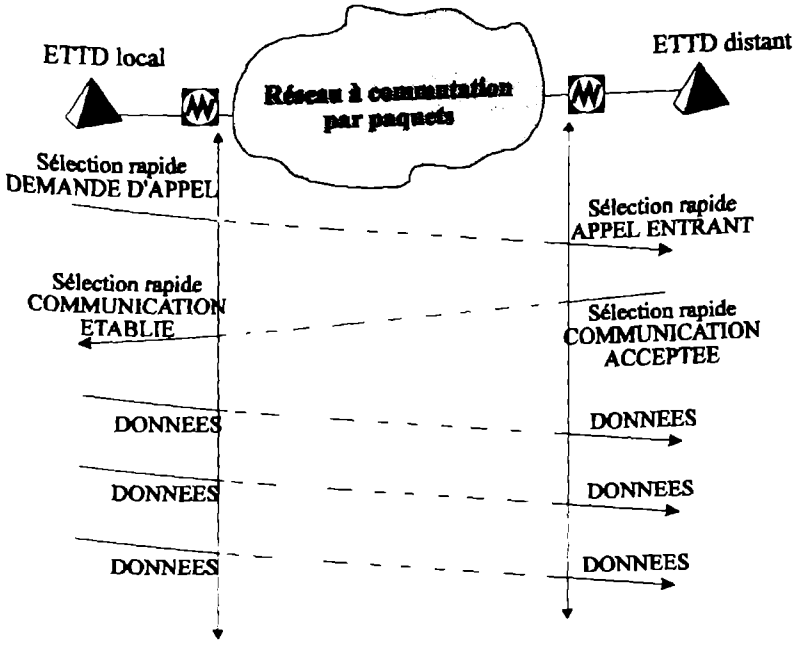


***Figure 6.5** - Sélection rapide avec transfert de données.*

Le paquet de demande d'appel est de la même nature que précédemment. Sur réception de ce paquet, l'ETTD distant peut émettre une demande de libération avec au plus 128 octets de données utilisateur. Cependant, il peut aussi accepter la communication et continuer la session de façon normale.

Sur certains réseaux, la demande de libération intervenant en fin de session pourra aussi contenir jusqu'à 128 octets de données utilisateur. Il est possible d'envoyer un champ données utilisateur d'au plus 16 octets avec le paquet de libération sur l'ensemble des réseaux.

Acceptation de la sélection rapide

C'est la possibilité de recevoir des appels entrants avec sélection rapide. L'acceptation de la sélection rapide permet à l'ETCD de transmettre à l'ETTD les appels entrants qui demandent la sélection rapide.

Voies logiques spécialisées départ

Ce service complémentaire offre la possibilité à un ETTD de ne pas être pollué par des appels entrants tout en émettant des demandes d'appel vers l'extérieur. Ce service complémentaire est précisé à l'abonnement et empêchera tout paquet d'appel entrant d'atteindre l'ETTD ainsi abonné.

Si ce service est actif, tous les paquets d'appel entrant seront libérés avant d'arriver à cet ETTD. Il faut noter que cette facilité s'applique à toutes les voies logiques entre l'ETCD et l'ETTD qui a choisi de la mettre en œuvre.

Voies logiques spécialisées arrivée

C'est exactement l'opposé du service complémentaire précédent. Dans ce cas, l'ETTD désire seulement recevoir des appels. C'est un service complémentaire qui dépend de l'abonnement.

S'il est activé, tout paquet de demande d'appel émis par cet ETTD sera libéré par l'ETCD avec un paquet d'indication de libération.

Classes de débit par défaut

Une classe de débit définit le nombre de bits qui peuvent être transférés par seconde sur un circuit virtuel donné (on dit que c'est la vitesse de la liaison). La classe de débit par défaut s'applique toujours tant que l'on ne précise rien à ce sujet pendant l'établissement de la communication.

On attribue cette classe par défaut à l'ETTD lors de l'abonnement ; elle découle naturellement de la vitesse de la ligne de communication. Cette classe par défaut s'applique à toutes les voies logiques entre cet ETTD et l'ETCD associé.

Ce service complémentaire permet à l'ETTD de choisir une classe de débit par défaut sur son interface ETCD.

La classe de débit pour les données venant de l'ETTD appelé est définie par les bits 8, 7, 6 et 5. De la même manière, le classe de débit pour les données émises par l'ETTD qui initialise la communication est donnée par les bits 4, 3, 2 et 1 (voir tableau 6.3).

Tableau 6.3 - Codage des classes de débit.

Bit ou Bit	4 ou 8	3 ou 7	2 ou 6	1 ou 5	Classes de débit (en bit/s)
0	0	0	0		Réservé
0	0	0	1		Réservé
0	0	1	0		Réservé
0	0	1	1		75
0	1	0	0		150
0	1	0	1		300
0	1	1	0		600
0	1	1	1		1200
1	0	0	0		2400
1	0	0	1		4800
1	0	1	0		9600
1	0	1	1		19200
1	1	0	0		48000
1	1	0	1		Réservé
1	1	1	0		Réservé
1	1	1	1		Réservé

Négociation des paramètres de contrôle de flux

Il existe deux paramètres qui influent directement sur le contrôle de flux sur un circuit virtuel. Le premier est la taille de fenêtre et le second est la longueur des paquets. Nous avons appris lors de l'étude du chapitre 5 que la taille de la fenêtre définit le nombre maximum de paquets non acquittés qui peuvent être émis pendant une communication. La longueur de paquet est le nombre maximum d'octets de données qui peuvent être transportés dans le champ *données utilisateur* d'un paquet. Le fait d'augmenter ces deux tailles permettra généralement d'améliorer le débit global et donc la performance des liaisons. Grâce à ce service complémentaire, l'ETTD appelant peut choisir une taille de fenêtre et une longueur de paquet. S'il ne demande rien, ce sont les valeurs par défaut qui s'appliquent. Ces dernières peuvent être déterminées par le réseau ou par l'utilisation des deux services complémentaires suivants : taille de fenêtre par défaut non standard et longueur de paquet par défaut non standard (nous les étudierons dans la suite de ce chapitre).

EXEMPLE DE NEGOCIATION DE CONTROLE DE FLUX

On décrit en figure 6.6 une situation où l'ETTD a généré une demande d'appel avec des paramètres de contrôle de flux qui sont taille de fenêtre = 4 et longueur de paquet = 256. Lorsqu'il reçoit ces

informations avec l'appel entrant, l'ETTD appelé décide qu'il désire diminuer la taille de la fenêtre. Il accepte l'appel avec un paquet communication acceptée qu'il envoie en retour avec les paramètres taille de la fenêtre = 2 et longueur de paquet = 256. Si l'ETTD appelant est d'accord avec cette proposition, la communication se poursuivra de façon classique.

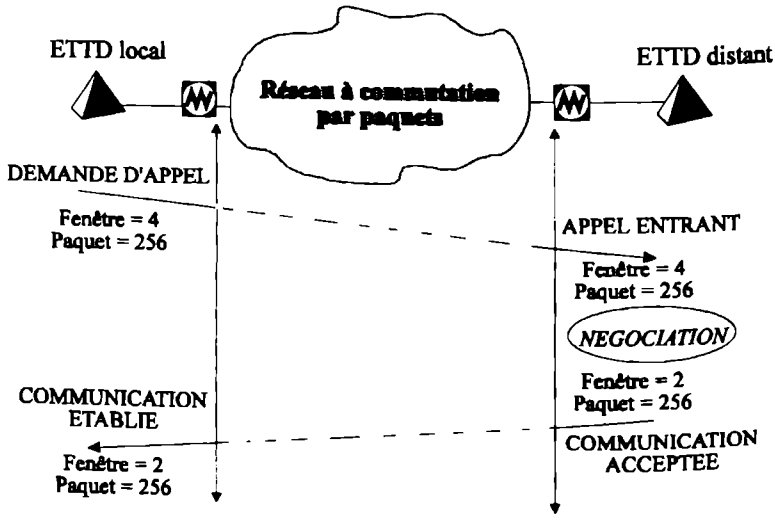


Figure 6.6 *- Exemple de négociation de paramètres de contrôle de flux.*

Groupes fermés d'abonnés

De façon simple, on peut dire que le service complémentaire *groupe fermé d'abonnés* (souvent noté GFA) permet aux utilisateurs de grands réseaux de créer des groupes privés d'utilisateurs. L'accès à un tel groupe privé n'est alors permis qu'aux seuls membres de ce groupe. C'est exactement le fonctionnement d'un club privé ! Notons qu'il est possible de créer et gérer des groupes fermés d'abonnés sur les réseaux publics tels que TRANSPAC.

La figure 6.7 donne un exemple simple de deux GFA. Le premier noté GFA 1 comprend les ETTD abonnés A, B et C qui peuvent communiquer entre eux comme ils le veulent. Le second est le GFA 2 composé des ETTD A et D. Dans ce cas de figure, A et D peuvent communiquer entre eux à l'initiative de chacun mais D ne peut pas le faire avec B et C.

Choix d'un groupe fermé d'abonnés

Ce service complémentaire permet à l'ETTD appelant de spécifier un GFA sur une communication donnée (un circuit virtuel particulier). C'est un service complémentaire optionnel demandé au niveau de chaque appel. La requête est contenue dans le paquet de demande

d'appel à l'origine de la communication. Il ne concerne que les ETTD à condition que l'appartenance à un GFA ait été déclarée lors de l'abonnement.

Le nombre maximum de GFA auxquels un ETTD peut appartenir est fixé par le fournisseur ou l'opérateur du réseau. Si l'ETTD fait partie d'au plus 100 GFA, le format de base du service complémentaire GFA est mis en œuvre. On utilisera le format étendu si ce nombre est compris entre 101 et 10 000 GFA. A titre pratique, TRANSPAC limite commercialement à 4 le nombre de GFA auquel un abonné du réseau peut appartenir.

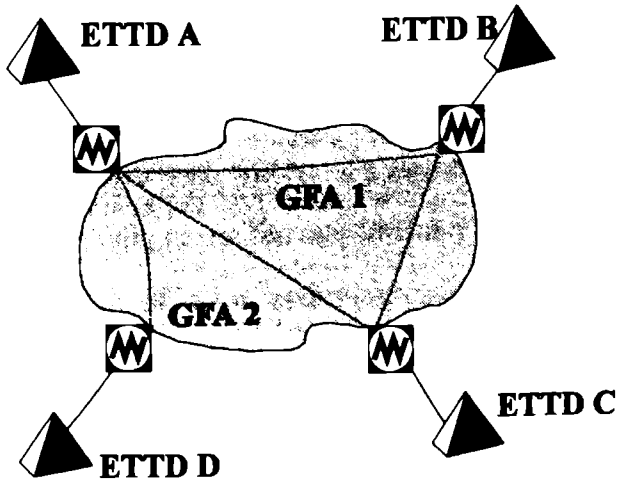


Figure 6.7 - Exemples de groupes fermés d'abonnés.

Accès à un groupe fermé d'abonnés

GFA AVEC DEMANDE D'APPEL

Ce service complémentaire autorise l'ETTD à faire partie de plus d'un GFA tout en lui laissant la possibilité d'émettre des demandes d'appel vers des ETTD qui n'appartiennent pas aux mêmes GFA que lui. On donne ainsi la permission à un abonné d'appeler des abonnés qui ne font pas partie des mêmes groupes que lui à condition d'utiliser ce service complémentaire et de spécifier le GFA ou l'ETTD appelé.

GFA AVEC APPELS ENTRANTS

C'est le cas symétrique du précédent. L'abonné fait partie d'un GFA et peut à ce titre communiquer avec tous les autres membres de ce GFA. Il peut en outre recevoir des appels entrants de la part d'abonnés qui n'appartiennent pas aux mêmes groupes que lui.

GFA AVEC INTERDICTION DE RECEPTION D'APPELS ENTRANTS

Dans ce cas, un ETTD qui appartient à un GFA peut émettre des demandes d'appels vers les abonnés de ce GFA mais n'est pas autorisé à recevoir des appels entrants de leur part.

GFA AVEC INTERDICTION D'ENVOYER DES DEMANDES D'APPEL

L'ETTD est incapable de générer des demandes d'appel à destination des abonnés qui appartiennent au même GFA que lui. Il peut par contre recevoir les appels entrants de ces ETTD.

GFA BILATERAL

A titre indicatif, on citera ce service complémentaire défini par le CCITT pour permettre à *deux* abonnés de former leur propre GFA. Le terme bilatéral signifie ici « entre ces deux ETTD ». Nous ne détaillerons pas plus cette facilité peu utilisée en pratique.

Enregistrement dynamique de services complémentaires

La possibilité de définir des services complémentaires est apparue lors de la recommandation X.25 de 1984. Elle permet à l'ETTD de vérifier et contrôler les services complémentaires actifs sur une liaison donnée ou d'en demander de nouveaux.

L'enregistrement dynamique de services complémentaires est à l'initiative de l'ETTD qui transmet une demande d'enregistrement sur la voie logique 0 vers l'ETCD. La structure du paquet d'enregistrement est donnée en figure 6.8. Il inclut les champs d'adresse pour d'éventuelles utilisations futures et pour être conforme aux autres paquets du même type. Pour le moment, les longueurs d'adresse sont nulles et les champs d'adresse sont laissés à blanc. Le champ d'enregistrement peut contenir jusqu'à 109 octets et ne doit être présent que si des services complémentaires doivent être modifiés.

Sur réception du paquet de demande d'enregistrement, l'ETCD répond avec un paquet de confirmation d'enregistrement donnant l'état de tous les services complémentaires en vigueur sur cette interface particulière ETTD/ETCD. Les services complémentaires donnés dans le paquet de confirmation d'enregistrement resteront actifs pour toutes les communications ultérieures sur cette interface. Il est important de remarquer que les services complémentaires de modification du bit D, de numérotation étendue des paquets et de retransmission de paquet ne peuvent être altérés que lorsqu'il n'y a pas de circuit virtuel actif. Le paquet de confirmation d'enregistrement indique également les services complémentaires qui n'ont pas été modifiés ou qui peuvent l'être avec la raison dans les deux cas. Cette raison est précisée grâce à des codes que nous allons maintenant décrire.

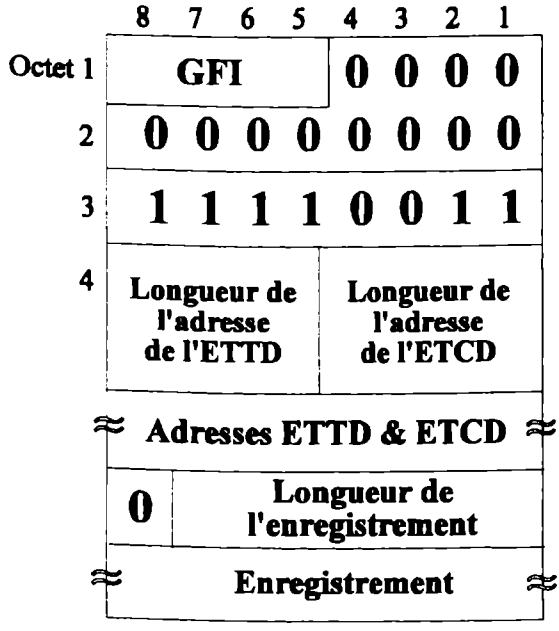


Figure 6.8 *- Structure du paquet de demande d'enregistrement.*

LE PAQUET DE CONFIRMATION D'ENREGISTREMENT

Le format de ce paquet est donné en figure 6.9. Il est transmis par l'ETCD vers l'ETTD. Il fournit le statut actuel d'une demande de service complémentaire dynamique. Le champ cause détermine la raison de la mise en œuvre d'un service complémentaire ou un acquittement si la demande a été acceptée.

Le codage de ce champ cause est présenté par le tableau 6.4.

Le champ diagnostic est positionné à 0 si l'enregistrement a fonctionné. Sinon, il contient d'avantage d'informations sur l'échec. Le champ enregistrement de longueur maximum 109 octets contient les services complémentaires optionnels disponibles avec ceux qui sont mis en œuvre à cet instant entre l'ETCD et l'ETTD.

Tableau 6.4 *- Codage du champ cause du paquet enregistrement.*

Bits	8	7	6	5	4	3	2	1
Enregistrement confirmé	0	1	1	1	1	1	1	1
Demande de service comp. invalide	0	0	0	0	0	0	1	1
Erreur de procédure locale	0	0	0	1	0	0	1	1
Réseau congestionné	0	0	0	0	0	1	0	1

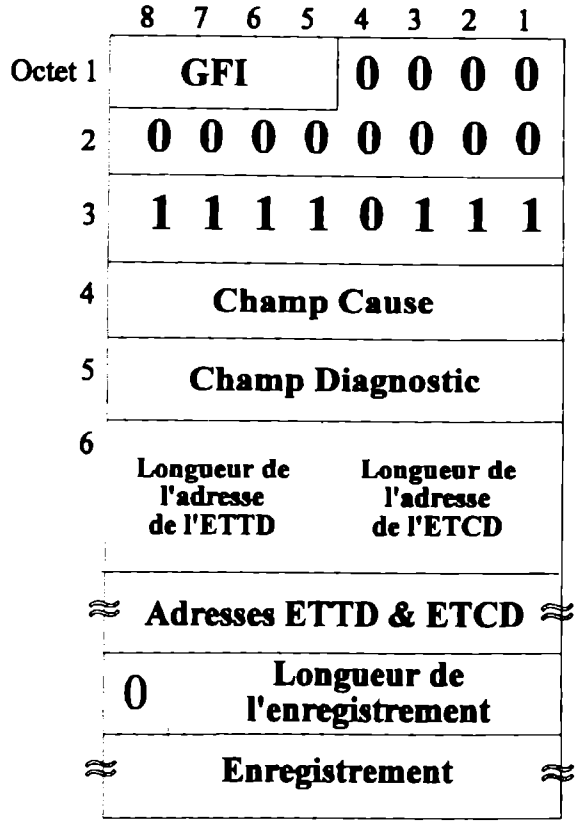


Figure 6.9 - Structure du paquet de confirmation d'enregistrement.

La numérotation étendue des numéros de séquence de paquet

Ce service optionnel est apparu la première fois avec la recommandation X.25 de 1984. Grâce à lui, les numéros de séquence de paquet peuvent atteindre une valeur de 128 au lieu de 8 en standard. On utilise souvent les termes *modulo 8* ou *modulo 128* pour indiquer respectivement une plage de numérotation entre 0 et 7 ou entre 0 et 127. La numérotation modulo 128 est devenue une nécessité absolue pour de nouveaux moyens de communication tels que les liaisons par satellite.

La numérotation étendue impose 7 bits pour construire les numéros de séquence et non plus 3 pour le modulo 8. Les paquets qui contiennent des numéros de séquence voient leur structure affectée par ce changement. Ce sont les paquets de données, de réception prête, de réception non prête et de rejet.

La figure 6.10 montre les paquets de données et de réception prête ainsi modifiés. Ici, le troisième octet est utilisé pour le compteur P(S) et on a ajouté un quatrième octet pour P(R). Le bit M est déplacé du bit 5 de l'octet 3 vers le bit 1 de l'octet 4.

Le bit 6 du GFI (en haut à gauche sur les figures 6.9 et 6.10) vaut toujours 1 pour indiquer que la numérotation étendue modulo 128 est utilisée. Le bit 5 est positionné à 0.

Les paquets de rejet, de réception prête et non prête voient les bits de poids fort de l'octet 3 passer à 0. Un numéro de séquence sur 7 bits est placé en octet 4.

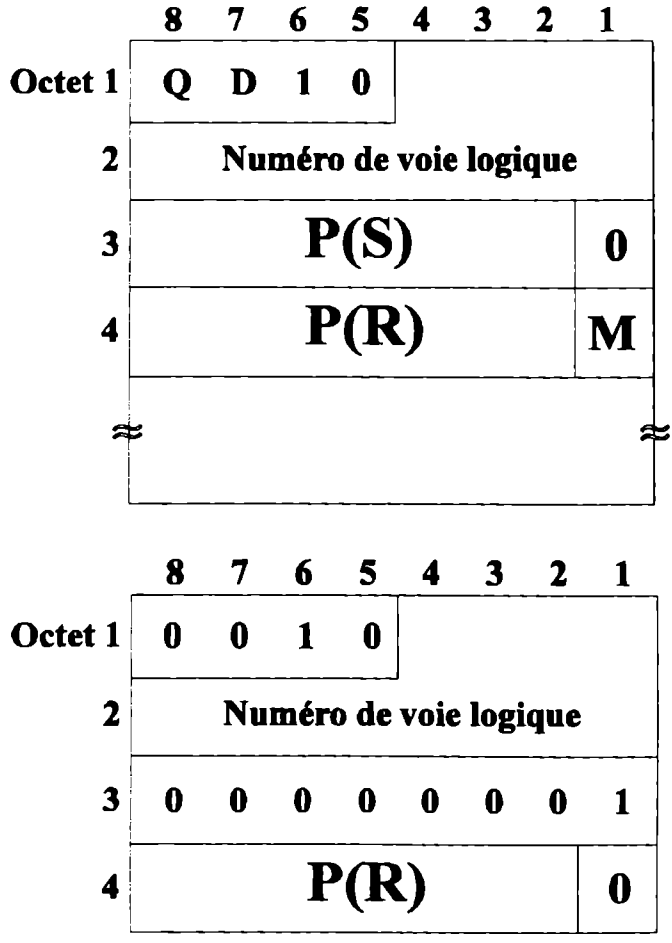


***Figure 6.10** - Paquets de données et de réception prête modifiés pour la numérotation étendue modulo 128.*

La modification du bit D

Le bit D est positionné à 1 dans les paquets d'appel et de données pour indiquer qu'un acquittement de bout en bout est demandé au niveau paquet. Certains ETTD désirent avoir un acquittement de bout en bout mais ne savent pas gérer le bit D. Pour contourner ce problème, ils peuvent opter pour ce service complémentaire qui amènera l'ETCD à agir comme nous allons le décrire ci-dessous.

La retransmission de paquets

La retransmission de paquets est un service complémentaire optionnel mis en œuvre sur toutes les voies logiques entre un ETTD et un ETCD. Lorsqu'on y a souscrit, il autorise l'ETTD à envoyer une demande de retransmission de certains paquets vers l'ETCD. A titre d'exemple, on peut voir en figure 6.11 un ETCD en train d'envoyer des paquets vers l'ETTD. Le dernier envoyé portait un numéro de séquence égal à 7. Pour certaines raisons que lui seul connaît, l'ETTD désire recevoir à nouveau les paquets de numéros 6 et 7. Il émet alors un paquet de rejet vers l'ETCD avec un compteur P(R) égal au numéro du premier qu'il veut voir retransmis (c'est le n°6 dans ce cas). Lorsqu'il reçoit le paquet de rejet, l'ETCD retransmet les paquets 6 et 7 et la session continue ensuite tout à fait normalement.

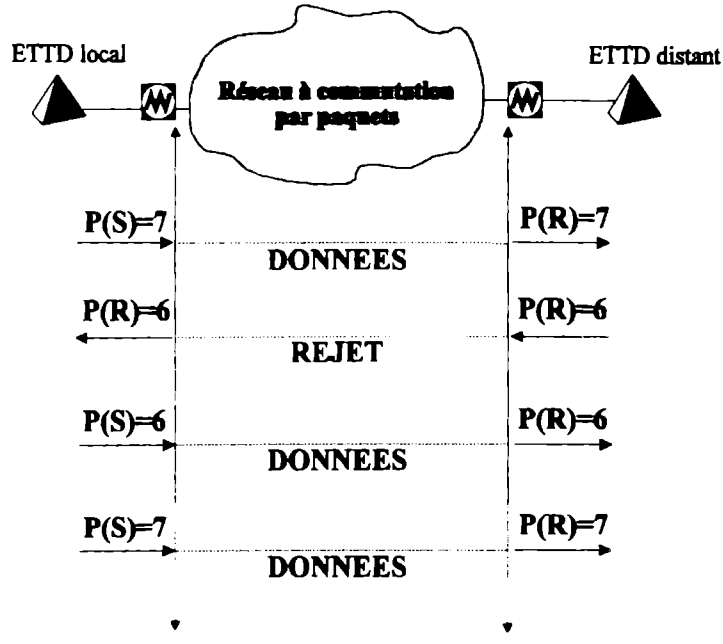


Figure 6.11 *- Retransmission de paquets.*

Voies logiques spécialisées arrivée

Lorsque ce service complémentaire est mis en œuvre, il interdit sur une voie logique particulière (ou un groupe de voies logiques) l'émission de demandes d'appel. On ne peut que recevoir des appels entrants. Les règles d'attribution des voies logiques sont données en annexe C. Si toutes les voies logiques entre un ETTD et un ETCD sont spécialisées arrivée, on est dans une situation équivalente à celle qui découle de l'activation du service complémentaire demandes d'appels interdites.

Voies logiques spécialisées départ

Ce service complémentaire interdit la réception d'appels entrants sur la voie logique (ou le groupe de voies logiques) sur laquelle il s'applique. Si toutes les voies logiques entre un ETTD et un ETCD sont spécialisées départ, on se trouve dans la situation produite lors de la mise en œuvre du service complémentaire appels entrants interdits.

Longueur de paquet par défaut non standard

La longueur de paquet est le nombre maximum d'octets que peut contenir le champ données utilisateur d'un paquet de données. Tous les réseaux publics ont une taille de paquet par défaut de 128 octets. Un ETTD peut utiliser ce service complémentaire pour choisir une longueur de paquet différente de celle par défaut. Elle sera dite non standard.

Les valeurs classiques sont 16, 32, 64, 128, 256, 512 et 1 024 octets. Certains réseaux imposent que la longueur de paquet par défaut soit la même pour les deux directions (émission et réception).

Des valeurs autres que celles par défaut peuvent être négociées pour une communication spécifique comme nous l'avons vu dans le paragraphe sur la négociation des paramètres de contrôle de flux quelques lignes ci-dessus.

Taille de fenêtre par défaut non standard

La taille de fenêtre par défaut vaut 2. Grâce à ce service complémentaire, l'ETTD peut choisir une autre taille par défaut comprise entre 0 et 7. Certains réseaux imposent que cette taille soit la même pour les deux sens du flux de données.

Des valeurs différentes de taille de fenêtre autres que celle par défaut peuvent être négociées pour une communication spécifique comme nous l'avons vu dans le paragraphe sur la négociation des paramètres de contrôle de flux.

La taxation au demandé

Ce service complémentaire autorise les communications facturées à l'abonné appelé. Comme nous l'avons souligné plus haut, c'est l'équivalent des appels téléphoniques « en PCV ». L'ETTD appelant indique qu'il désire faire supporter la facturation à l'ETTD appelé. Celui ci n'a pas l'obligation de souscrire à cette facilité. Il doit par contre mettre en place le service complémentaire d'acceptation de la taxation au demandé (voir ci dessous) en accord avec son ETCD associé. Si ce n'est pas le cas, l'ETCD de l'appelé libérera la communication. La moitié haute de la figure 6.12 illustre un appel avec taxation au demandé qui a été accepté par l'ETTD distant.

Acceptation de la taxation au demandé

Ceci permet à l'ETCD distant de transmettre à l'ETTD le paquet d'appel entrant qui demande la facturation à l'appelé. Si ce service complémentaire n'est pas activé, de tels appels ne seront pas acceptés comme le montre la seconde moitié de la figure 6.12.

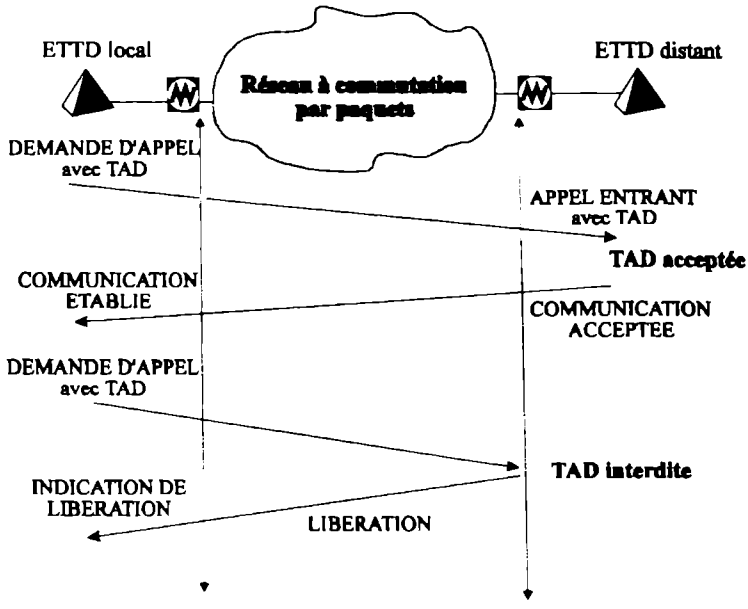


Figure 6.12 *- Taxation au demandé : la moitié haute représente une demande acceptée de facturation à l'appelé et celle du bas illustre un refus car le service complémentaire correspondant n'est pas actif.*

Prévention contre la facturation locale

C'est un service complémentaire plutôt inhabituel qui empêche l'ETTD abonné de supporter une quelconque facturation lors d'un appel sur le réseau. Sa mise en œuvre repose sur les trois règles suivantes :

1. Mise en œuvre de la taxation au demandé.
2. Identification des autres ETTD grâce au NUI.
3. Refus des appels entrants qui demandent la taxation au demandé.

Identification de l'abonné réseau (ou NUI)

Lorsqu'il est disponible, ce service complémentaire permet à l'ETTD de fournir au réseau les informations nécessaires à la facturation, à la sécurité ou à la gestion du réseau. Ces informations sont chargées soit dans le paquet de demande d'appel, soit dans celui de communication acceptée. On peut utiliser ce service même si l'ETTD ne s'est pas abonné au service de prévention à la facturation locale présenté juste avant.

On peut remarquer que ces informations n'arrivent pas à l'ETTD appelé ; elles sont utilisées et gérées par le réseau seulement.

Informations de facturation

Ce service complémentaire est très utile lorsque l'on veut faire une analyse des coûts ou une comptabilité au niveau des ressources informatiques. Il peut être invoqué systématiquement ou à chaque appel.

Si on le met en œuvre ponctuellement et si l'ETTD prend en charge la facturation liée à cette communication, on pourra demander le coût de cet appel grâce à l'utilisation du service complémentaire approprié dans les paquets de demande d'appel ou de communication acceptée.

Si ce service complémentaire est tout le temps actif, l'ETTD recevra toujours les informations liées à la taxation sans recourir à l'envoi de service complémentaire dans les paquets d'appels.

Dans les deux cas, les informations de facturation sont envoyées vers l'ETTD assujetti à la taxe de communication dans les paquets d'indication de libération ou de confirmation de libération.

Liaisons groupées

Ce service complémentaire est apparu avec la version de 1984. Il permet l'envoi d'une demande d'appel vers un groupe d'ETTD ou vers un ETTD ayant plusieurs liaisons avec le réseau. Les paramètres sont les mêmes pour tous ces raccordements qui sont vus du réseau avec une seule adresse. On illustre ceci avec l'exemple simple donné en figure 6.13 où quatre ETTD ont pour adresse A, B, C et D. Ils appartiennent tous au groupement X. Supposons qu'une demande d'appel soit émise avec l'adresse appelée X et que ce soit D qui l'accepte. Lorsqu'un appel entrant est accepté par un ETTD appartenant à un tel groupe, c'est l'adresse de cet ETTD qui est retournée vers l'ETTD appelant dans le paquet de communication établie qui lui arrive. Dans cet exemple, le paquet de communication établie contiendra l'adresse de D.

Transfert d'appel

Voici un autre service complémentaire apparu en 1984. Si l'ETTD appelé est occupé ou hors service, l'appel peut être redirigé vers un autre ETTD. Certains réseaux ne savent rediriger l'appel que si l'ETTD est hors service. Il faut bien remarquer que cet appel ne peut être redirigé qu'à l'intérieur du réseau dans lequel l'appel a été effectué. On ne peut pas rediriger un appel vers un autre réseau que celui d'origine.

Dans sa forme la plus simple, ce service ne permet la redirection ou le transfert que d'un seul appel. Certains réseaux offrent cependant la possibilité de transfert systématique, de liste d'adresses de transfert ou de transfert en cascade. Le transfert systématique permet à l'utilisateur de choisir en accord avec l'opérateur du réseau les conditions nécessaires à de telles redirections. Un bon exemple est donné par la

possibilité de réaliser un transfert d'appel systématique d'un ETTD vers un autre tous les jours à partir de 18 heures lorsque les bureaux sont fermés. La redirection vers une liste permet le stockage d'un certain nombre d'adresses vers lesquelles on fera des tentatives lorsqu'un appel est transféré. Le transfert en cascade signifie que l'appel sera redirigé en respectant une séquence déterminée. Par exemple, si A est hors service, le réseau pourra essayer le transfert vers B, C, D, E, etc.

Quoiqu'il arrive, le réseau vérifiera que l'appel ne finit pas par boucler indéfiniment ou qu'il ne retourne pas à son émetteur. Le temps mis par un appel pour aboutir doit être inférieur au temporisateur T21 (voir la table 5.5 du chapitre précédent).

Lorsqu'un appel est transféré, certains réseaux préviennent l'ETTD de remplacement que cet appel est redirigé et indiquent la cause de ce transfert accompagnée de l'adresse de l'ETTD initialement appelé. Ceci est réalisé grâce au service complémentaire suivant.

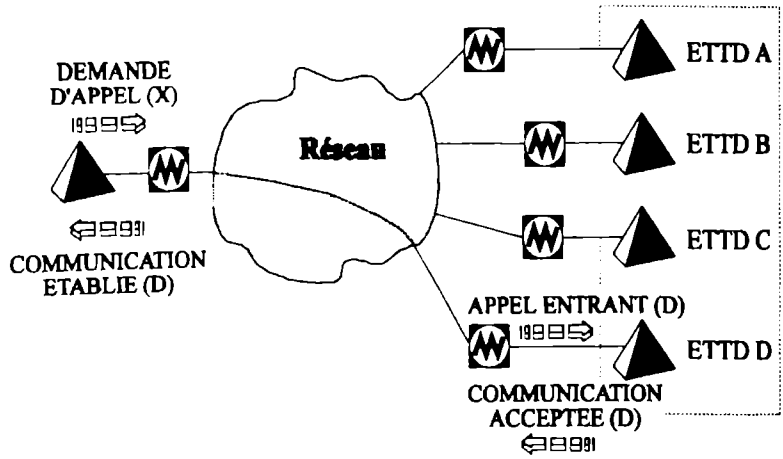


Figure 6.13 *- Tous les ETTD sont dans le même groupe et A, B et C sont occupés ou en état de débordement ; ils ne peuvent donc pas répondre. L'appel entrant est alors envoyé à D. L'adresse de D est ensuite retournée avec le paquet de communication acceptée.*

Avis de transfert d'appel

Nous venons de voir qu'il est possible d'indiquer à l'ETTD qui reçoit un appel transféré la raison de ce transfert.

On pourra signaler les raisons suivantes dans le paquet d'appel entrant si ce service complémentaire est mis en œuvre :

1. L'ETTD appelé initialement est hors service.
2. L'ETTD appelé initialement est occupé.
3. Le transfert d'appel systématique est actif.

Avis de modification de l'adresse appelée

Ce service complémentaire optionnel est utilisé par l'ETCD pour indiquer à l'ETTD la raison pour laquelle les adresses contenues dans les paquets de communication établie ou d'indication de libération diffèrent de celle spécifiée dans la demande d'appel. On remarquera que c'est le cas lorsqu'un appel est transféré. Si l'ETTD A a appelé l'ETTD B et si son appel est redirigé vers l'ETTD C, c'est l'adresse de C qui sera retournée dans le paquet de communication établie (ou d'indication de libération si C refuse l'appel).

Choix et indication du délai de transit

Le délai de transit est le temps mis pour envoyer un paquet à travers le réseau. C'est une caractéristique propre aux communications virtuelles ou aux circuits virtuels permanents. Elle est valable pour les deux directions de transmission. La valeur du délai de transit est définie par la recommandation X.135 et est exprimée en millisecondes. Pour TRANSPAC, cette valeur est 200 millisecondes et indique que dans 95 % des cas, aux heures chargées, le délai de transit est inférieur à 200 millisecondes.

Le choix et l'indication du délai de transit sont des services complémentaires optionnels demandés à chaque appel. Sa valeur pour une communication particulière est placée dans le paquet de demande d'appel. Si le réseau supporte cette facilité, il allouera les ressources nécessaires et utilisera les meilleurs chemins pour que le délai de transit sur cette liaison ne dépasse pas celui demandé.

Auto-évaluation

1. Qu'est ce qu'un service complémentaire pour X.25 ?
2. Donner deux façons d'invoquer un service complémentaire.
3. Donner les quatre classes de services complémentaires.
4. Dans le champ code de service complémentaire, quel est le nombre de classes et quel est le nombre maximum de services complémentaires possibles dans chaque classe ?
5. Quelle devrait être la réponse normale à une demande de service complémentaire refusée par le correspondant appelé ?
6. Quelle est la taille maximum des données utilisateur qui peuvent être contenues dans un paquet de sélection rapide ?
7. Que signifie l'abréviation GFA ?

8. Quels sont les nombres d'octets minimum et maximum du champ données utilisateur d'un paquet de données.

9. Donner un exemple d'utilisation de la numérotation étendue (modulo 128) pour les numéros de séquence de paquets.

10. Qu'est-ce qu'un groupement de liaisons ?

11. Dans quels cas précis peut-on se servir du transfert d'appel ?

CHAPITRE 7

LES AUTRES « X » DE LA FAMILLE X.25

Il existe trois standards complémentaires à tout ce que nous venons d'étudier. Ils sont issus des recommandations du CCITT et sont référencés sous les appellations X.3, X.28 et X.29. Ils sont tous les trois relatifs aux PADs (Assembleurs et désassembleurs de paquets). C'est l'objet principal de ce chapitre.

Les PADs : assembleurs/désassembleurs de paquets

Dans ce livre, nous avons pour l'instant supposé que chaque utilisateur était équipé d'un ETTD capable de charger et décharger les données dans des paquets, et de réaliser toutes les fonctions nécessaires à la transmission de ces paquets sur son interface de type X.25. C'est typiquement la cas représenté par la figure 7.1.

Figure 7.1 *- Ce graphique rencontré plusieurs fois dans ce livre suppose que les ETTD A et B sont capables d'opérer en mode paquet.*

Les terminaux asynchrones (orientés caractères)

La plupart d'entre vous ont déjà été ou seront bientôt mis en contact avec des équipements beaucoup moins intelligents que nos ETTD ci-dessus. Ce sont par exemple des terminaux asynchrones dépourvus d'intelligence et connectables sur n'importe quel système informatique. On les appelle terminaux de bas niveau ou encore terminaux orientés caractère car il ne savent transmettre ou recevoir les données que caractère par caractère. Ceci dit, de tels équipements sont susceptibles d'accéder à des serveurs d'informations via des réseaux à commutation par paquets. Leurs utilisateurs désirent sûrement obtenir les données

disponibles sur ces serveurs au même titre que toute personne connectée en direct sur de tels réseaux.

Pour réaliser cette connexion, il est indispensable de disposer d'un convertisseur de protocole appelé un *assembleur/désassembleur de paquets* aussi noté *PAD* (de l'anglais packet assembler/disassembler). Les données transitent du terminal au PAD caractère par caractère pour être ensuite émises sur le réseau sous la forme de paquets X.25.

La figure 7.2 montre comment un terminal asynchrone est capable d'accéder à un réseau à commutation par paquets grâce à l'utilisation d'un PAD. Le message émis par le terminal arrive au PAD caractère par caractère. Le PAD assemble ces caractères reçus un à un pour former un paquet qui sera ensuite envoyé sur le réseau par son interface de type X.25. Le PAD reçoit aussi des données sous forme de paquets en provenance du correspondant distant. Il désassemble chaque paquet en caractères transmis un à un vers le terminal.

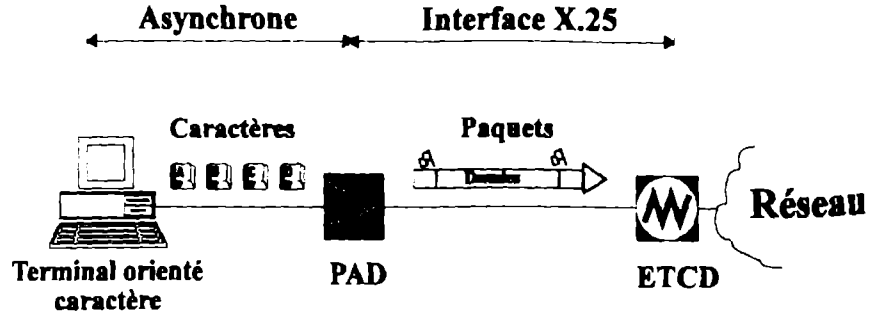


Figure 7.2 - Un terminal orienté caractère peut accéder à un réseau à commutation par paquets en utilisant un assembleur désassembleur de paquets qui joue alors le rôle de convertisseur de protocole.

Il existe sur le marché des équipements informatiques des PADs qui sont également concentrateurs de terminaux. Ils permettent alors à plusieurs terminaux d'accéder à un réseau à commutation par paquets. Ainsi et selon la capacité du PAD, on pourra partager la liaison X.25 entre 4, 8, 16, 32 terminaux (ce sont des valeurs souvent rencontrées en pratique mais il existe bien entendu des PADs plus puissants). Cette situation est résumée par la figure 7.3 où 8 terminaux utilisent le même PAD de façon simultanée.

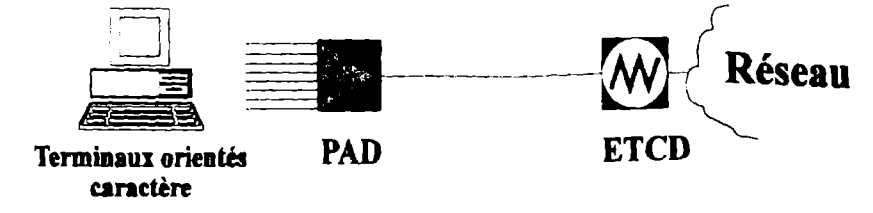


Figure 7.3 - En général, un PAD peut supporter plusieurs terminaux non intelligents en utilisant des techniques de multiplexage. Ceci permet aux terminaux de partager la liaison X.25.

Architecture d'un PAD

A ce niveau, il est important de noter qu'un PAD n'est pas forcément un équipement matériel que l'on pourrait représenter par une boîte remplie de composants électroniques. Cela peut très bien être une implémentation logicielle qui permet à un ordinateur d'être vu comme un PAD. Un bon exemple est donné par les systèmes Guardian de la société Tandem Computers. Sur ces machines connectées à une interface X.25, on peut trouver un programme appelé X3PAD qui propose toutes les fonctions requises pour être conforme avec les recommandations du CCITT que nous allons maintenant étudier.

Il est bien sûr possible d'acheter des PADs sous la forme de boîtes unitaires qui se présentent et se connectent comme un traditionnel convertisseur de protocole. Ces équipements peu encombrants et autonomes sont de bons exemples des avancées technologiques en matière de miniaturisation ainsi que de la baisse des prix des périphériques informatiques. Ce sont de véritables ordinateurs architecturés autour d'un microprocesseur, d'une mémoire et de circuits dédiés aux connexions de type X.25 ou asynchrones.

Les PADs des réseaux publics

On peut voir en figure 7.4 une situation souvent mise en œuvre sur les réseaux publics à commutation par paquets tels que TRANSPAC. L'utilisateur ici représenté n'a pas de PAD. Il accède au réseau en utilisant un modem qui lui permet d'appeler un autre modem, lui-même connecté sur un PAD du réseau public. Un tel service est particulièrement intéressant lorsque l'utilisateur se déplace ; il peut emporter avec lui un ordinateur portable équipé d'un modem pour accéder au réseau public de transmission de données en passant par le réseau public du téléphone. A titre d'exemple, il est possible d'accéder à TRANSPAC en appelant le PAD multimode de France Télécom par le numéro de téléphone 36.06.24.24 qui autorise des communications allant jusqu'à 2 400 bits/seconde.

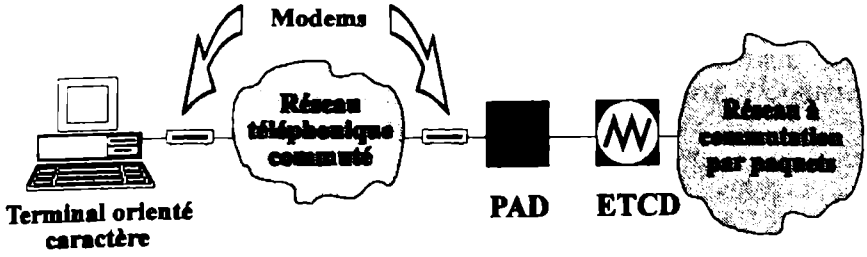


***Figure 7.4** - Accès par le téléphone à un réseau à commutation par paquets. Ce genre de services est très souvent proposé par les réseaux publics de transmission de données.*

Pour être vraiment complet sur le sujet, il faut bien réaliser qu'un terminal asynchrone est plus une fonction qu'un équipement. Un simple micro-ordinateur ou un site central peuvent très bien se transformer en terminal asynchrone grâce à un émulateur comme c'est le cas d'un système TANDEM.

Pourquoi utiliser un PAD ?

Après avoir étudié les six premiers chapitres, vous savez que l'accès à un réseau à commutation par paquets selon la recommandation X.25 présente des garanties et des avantages. Les transmissions sont exemptes d'erreurs et possibles sur une grande variété de supports tels que les liaisons par satellite, les fibres optiques, les canaux hertziens et bien sûr les câbles téléphoniques. Alors pourquoi s'embêter à promouvoir un nouveau type d'accès moins performant ? La réponse est qu'un PAD fournit un moyen peu onéreux d'accéder à de tels réseaux à partir de terminaux bon marché.

On peut déjà résumer les fonctions principales d'un PAD :

1. Etablissement de la communication avec le réseau à commutation par paquets.
2. Maintien de cette liaison.
3. Assemblage et désassemblage des paquets.
4. Communication avec le terminal asynchrone caractère par caractère.
5. Gestion de fonctions spéciales par rapport au terminal comme le contrôle de flux par exemple sur lequel nous reviendrons dans la suite.

Les standards « X » issus du CCITT et l'IA5

Avant d'entrer dans le détail des standards du CCITT, il faut mentionner que chaque caractère émis et reçu par le PAD doit être conforme à l'alphabet international numéro 5 noté *IA5*. On le rencontre beaucoup plus fréquemment sous l'appellation ASCII, code binaire sur 7 bits auxquels on ajoute un bit de parité.

De manière générale, il n'y a pas de salut dans le monde des communications informatiques si on ne définit pas des normes (issues des organismes de normalisation ou des standards de fait du marché) que chacun respecte pour pouvoir dialoguer avec les autres. Le CCITT, un des organismes très actifs sur le sujet, a produit une normalisation au niveau des PADs. On a d'abord publié des recommandations provisoires en 1977, suivies de documents plus formalisés en 1980. On dénombre trois recommandations relatives aux PADs. Ce sont les normes X.3, X.28 et X.29 dont les domaines d'action sont représentés en figure 7.5 de la page suivante.

Nous allons commencer cette étude par la recommandation X.3.

La recommandation X.3

On ne peut pas assimiler un PAD à un simple convertisseur de protocole. Il fournit également une série de services supplémentaires au terminal asynchrone orienté caractère. La recommandation X.3 définit ces services. Ceux-ci sont implémentés sous forme de paramètres qui définissent certaines caractéristiques propres au terminal et à sa liaison avec le PAD. En d'autres termes, les valeurs d'un paramètre influent directement sur le comportement du PAD lorsqu'il reçoit ou émet des données sur la liaison maintenue avec le terminal asynchrone.

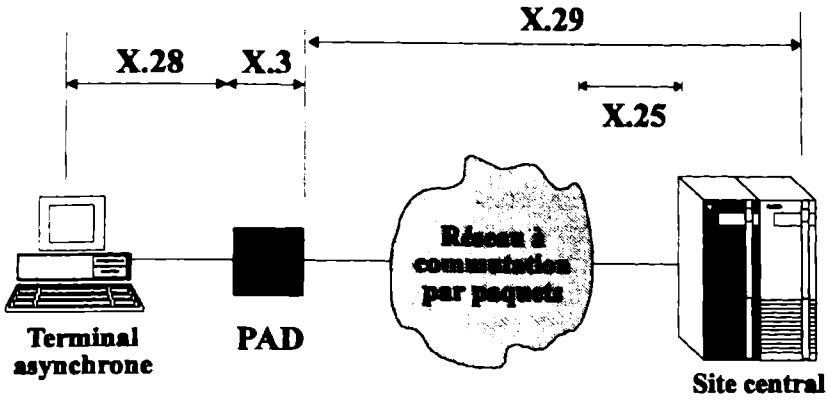


Figure 7.5 *- Les trois recommandations utilisées lorsqu'un PAD est connecté à un réseau à commutation par paquets. Elles complètent la série « X » de la famille X.25.*

Un exemple significatif de services offerts par un PAD est donné par le paramètre X.3 numéro 2 qui signale si le terminal désire que le PAD lui renvoie les données émises en écho. Lorsqu'on appuie sur les touches du clavier d'un terminal, le caractère associé à la combinaison de touches apparaît à l'écran de ce terminal. Cet écho peut être généré de façon locale par le terminal lui-même (on parle alors d'écho local) ou au contraire provenir de l'équipement distant vers lequel les données sont émises. Il est important de configurer le PAD en accord avec ce type d'écho. Les cas d'erreurs fréquents sont les suivants :

1. Ni l'équipement distant, ni le terminal ne réalisent l'écho des caractères frappés. Si le PAD ne retourne pas les caractères reçus du terminal, l'utilisateur ne voit rien sur son écran. Il travaille en aveugle.

2. Le terminal fournit un écho local et le PAD fait la même chose. On voit alors tous les caractères s'afficher en double sur l'écran (CCoommee cceellaa,, ppaarr eexxeemmppllee !!).

Ce paramètre peut être modifié de façon dynamique par l'utilisateur. En général, cela sera fait en début de session immédiatement après

l'établissement de la communication entre le PAD et le terminal. Pour cela, l'utilisateur doit taper les commandes suivantes :

"SET 2:1" pour mettre l'écho du PAD actif.
"SET 2:0" pour le rendre inactif.

Les valeurs des paramètres PAD

Au moment de la parution de ce livre, on dénombre les 22 paramètres PAD décrits dans le tableau 7.1. Ces paramètres sont stockés en tables dans le PAD et pourront permettre l'élaboration de tables standards appelées *profils PAD* et associées à des portes particulières de ce PAD. Un profil peut être utilisé pour accéder à une messagerie électronique, un autre sera plutôt relatif à des transferts de fichiers, un troisième enfin pourra servir lors de la connexion au système central de l'entreprise. Les profils peuvent ainsi être adaptés aux besoins de chaque application.

Les valeurs des paramètres sont modifiables de différentes façons. Elles peuvent être déterminées par le réseau ou par l'utilisateur lors de l'abonnement. Eventuellement, elles seront ensuite modifiées par l'ordinateur lorsque la demande d'appel est émise par le PAD ou par l'utilisateur connecté à son terminal une fois la communication établie (avec une commande telle que celles données au paragraphe précédent).

***Tableau 7.1** - Les paramètres PAD dans X.3.*

1.	Caractère d'échappement
2.	Service d'écho
3.	Caractères d'envoi de données
4.	Délai d'envoi de données
5.	Asservissement de l'ETTD par le PAD
6.	Transmission des indications par le PAD
7.	Procédure sur réception du signal BREAK de l'ETTD
8.	Remise des données à l'ETTD
9.	Service de bourrage après CR (retour chariot)
10.	Service de pliage de ligne
11.	Vitesse de la liaison d'accès
12.	Contrôle de flux du PAD par l'ETTD
13.	Insertion de LF après CR
14.	Service de bourrage après LF (retour à la ligne)
15.	Edition
16.	Caractère d'effacement d'un caractère (ASCII/IA5)
17.	Caractère d'effacement d'un ligne (ASCII/IA5)
18.	Caractère d'affichage d'une ligne (ASCII/IA5)
19.	Indications d'édition
20.	Masque d'écho
21.	Traitement de la parité
22.	Attente en fin de page

Etude détaillée des paramètres PAD

Remarquons que la plupart des constructeurs de PAD utilisent leurs propres extensions à la recommandation X.3. C'est pourquoi nous ne traiterons pas certaines configurations et possibilités que vous pouvez rencontrer dans vos documentations.

1. CARACTERE D'ECHAPPEMENT

L'émission de ce caractère permet à l'ETTD l'envoi d'une commande au PAD pendant la phase de transfert de données.

L'émission de ce caractère particulier de l'alphabet IA5 par le terminal asynchrone a pour effet de positionner le PAD en mode commande. Il restera dans cet état jusqu'à ce que le terminal ait envoyé sa commande. Une application typique de cette possibilité est le cas où le terminal veut avoir l'initiative de la rupture de communication avec son correspondant distant.

Le caractère par défaut est « CTRL + P » (ce symbolisme représente la combinaison des touches du clavier qui permettent de générer le caractère d'échappement par défaut ; on appuie simultanément sur les touches CTRL et P). Le PAD attend alors une commande. L'utilisateur peut taper une commande telle que LIB ou CLEAR pour libérer la communication.

Grâce à ce paramètre PAD, on peut définir le caractère de son choix dans la table de l'alphabet international n°5 (à condition que son rang soit compris entre 2 et 127).

2. SERVICE D'ECHO

Nous avons déjà mentionné ce paramètre ci-dessus. On le positionnera à 0 pour ne pas avoir d'écho ou à 1 si on veut l'activer au contraire. C'est certainement un des paramètres PAD les plus fréquemment mis en œuvre. Il est très pratique pour les applicatifs qui désirent inhiber l'écho de la saisie de l'utilisateur sur l'écran. C'est le cas lorsque l'on décline son mot de passe pour accéder à un système. Ainsi, personne ne peut voir à l'écran ce qui a été tapé au clavier.

3. CARACTERES D'ENVOI DE DONNEES

Il faut bien se rappeler qu'un PAD n'émet pas les caractères les uns après les autres. Il préfère transmettre des quantités d'informations plus substantielles comme une ou plusieurs lignes de texte. Pour déclencher l'émission des données, on utilise très souvent le caractère *retour chariot* (que nous noterons à partir de maintenant CR de l'anglais *carriage return*).

C'est le caractère qui indique qu'une ligne est complète et qu'elle peut donc être transmise sur la liaison. La documentation d'un

constructeur de PAD présente souvent un tableau illustrant les options possibles dont certaines sont :

a. Pas de caractère d'envoi de données.
b. CR est le caractère d'envoi de données.
c. N'importe quel caractère de la table IA5.
d. N'importe quel caractère de contrôle de la table IA5.
e. Transmission après *n* caractères.

Si ce paramètre vaut 0, il n'y a pas de caractère particulier pour l'envoi des données. Le PAD déclenchera la transmission après un certain délai qui est spécifié par le paramètre PAD suivant.

4. Delai d'envoi de donnees

Le PAD est autorisé à émettre les données reçues du terminal vers le réseau sous forme de paquets si aucun caractère de données ne lui est parvenu pendant la durée décrite par ce paramètre. Si cette valeur vaut 0, il n'y a pas d'envoi sur temporisation. Par contre, on peut utiliser n'importe quelle valeur comprise entre 1 et 255 pour définir la valeur du temporisateur en vingtièmes de seconde (0,05 seconde).

Pour une efficacité maximale, on peut vouloir utiliser la valeur la plus haute, mais cela risque de ralentir les temps de réponse du PAD lorsqu'on dialogue avec une application rapide sur la machine distante. Une valeur traditionnelle sera 10, ce qui force le PAD à conserver les données pendant la moitié d'une seconde au maximum.

5. Asservissement de l'ETTD par le PAD

Lorsque le PAD est connecté à un équipement avec moyens de stockage (tel qu'un micro-ordinateur qui transmet ses données à partir de son disque dur dont les temps d'accès sont de l'ordre de quelques millisecondes), il est très possible que les données arrivent trop vite pour que le PAD puisse les traiter et les envoyer sur le réseau. Le paramètre n°5 résout cela en permettant la mise en place d'un contrôle de flux entre terminal et PAD. Si le PAD est saturé, il pourra émettre un caractère représentant le message « Suspendre l'émission SVP ! » à destination du terminal intelligent.

Dès que tout est rentré dans l'ordre, un second caractère indiquant que « La transmission peut reprendre » sera émis vers le terminal pour que celui-ci reprenne son travail. On rencontre très souvent les caractères DC1 (ou X-ON) et DC3 (ou X-OFF) pour remplir cette fonction. Certaines configurations peuvent aussi utiliser le couple bien connu ENQ et ACK. Le PAD pourra aussi utiliser des signaux de l'interface tel que CTS.

6. TRANSMISSION DES INDICATIONS PAR LE PAD

Ce paramètre stoppe ou active la transmission des indications par le PAD vers le terminal. Ces indications proviennent d'événements X.25 tels que les libérations ou les réinitialisations.

7. PROCEDURE SUR RECEPTION DU SIGNAL BREAK DE L'ETTD

La réception d'un signal « break » par le PAD est considérée comme un signal d'envoi de données voulant attirer l'attention sur une situation qui semble sans doute anormale. Selon les valeurs de ce paramètre, le PAD prendra une décision au sujet des données à émettre. A titre d'exemple, l'envoi du break d'un terminal vers le PAD peut se produire lors d'une transmission longue qu'il faut interrompre car il y a risque de boucle sans fin. L'action prise par le PAD pourra être de :

a. ne rien faire de spécial et traiter les données,
b. provoquer une interruption,
c. provoquer une réinitialisation du circuit virtuel,
d. passer en mode commande.

8. REMISE DES DONNEES A L'ETTD

Lorsqu'il vaut 0, ce paramètre indique que les données à destination du terminal peuvent être émises normalement. S'il vaut 1, le PAD détruira les données reçues du réseau ; elles ne seront pas transmises au terminal asynchrone. Remarquons que ce paramètre ne peut être positionné à 1 ni par un paquet X.29 (voir les paragraphes suivants pour l'étude de X.29), ni par l'utilisateur ou le terminal asynchrone.

9. SERVICE DE BOURRAGE APRES CR (RETOUR CHARIOT)

Ce paramètre permet l'insertion de caractères de remplissage (le caractère NUL représenté par l'octet à zéro binaire) après la transmission d'un retour chariot vers le terminal. Cela permet de créer une temporisation qui autorise certains vieux périphériques (tels que les vieilles imprimantes télétypes) à replacer leur tête d'impression au début de la ligne suivante avant que la réception de données ne recommence.

10. SERVICE DE PLIAGE DE LIGNE

Grâce à ce paramètre, on peut formater les données sous forme de lignes de longueur constante avant de les envoyer au terminal. Si ce dernier possède un écran de 60 colonnes par exemple et si les données à afficher ont été préparées pour un écran de 80 colonnes, il y aura insertion d'un retour chariot après chaque séquence de 60 caractères pour que la présentation soit optimale.

11. VITESSE DE LA LIAISON D'ACCES

Ce paramètre en lecture seulement indique la vitesse de la liaison entre le PAD et le terminal asynchrone. Le CCITT propose une grande quantité de valeurs pour les débits possibles. A titre d'exemple, la valeur 3 indique une vitesse de 1 200 bits par seconde.

Rappelez-vous que c'est une information indicative qui ne peut pas être modifiée pour changer la vitesse entre le PAD et le terminal.

12. CONTROLE DE FLUX DU PAD PAR L'ETTD

C'est typiquement le contraire du paramètre n°5. Cette fois, on permet au terminal de contrôler le débit d'émission des données du PAD vers lui-même.

13. INSERTION DE LF APRES CR

C'est un paramètre très pratique pour tenir compte de la grande variété de terminaux produits par tous les constructeurs d'équipement informatique. Plusieurs possibilités sont offertes par des valeurs différentes pour s'adapter au maximum au comportement du terminal.

14. SERVICE DE BOURRAGE APRES LF (RETOUR A LA LIGNE)

C'est le même principe que le paramètre n°9 excepté que la caractère de bourrage NUL est inséré après l'émission de chaque LF plutôt que chaque CR.

15. EDITION

Lorsqu'il est positionné à 1, ce paramètre autorise le terminal asynchrone à modifier les caractères en attente de transmission contenus dans le tampon du PAD. Les caractères utilisables pour ces fonctions d'édition sont décrits par les paramètres n°16, 17 et 18.

16. CARACTERE D'EFFACEMENT D'UN CARACTERE (ASCII/IA5)

N'importe quel caractère ASCII compris entre 1 et 127 peut être utilisé pour cette fonction (à l'exception du caractère NUL donc). Par exemple, si la valeur du paramètre est 8, le caractère ASCII ← (souvent appelé « *backspace* ») sera utilisé. Le paramètre n°15 doit valoir 1 pour que ce paramètre soit activé.

17. CARACTERE D'EFFACEMENT D'UNE LIGNE (ASCII/IA5)

De façon similaire au paramètre précédent, on définit ici le caractère qui permet d'effacer entièrement le tampon d'édition du PAD. On préfère parler d'effacement de ligne car ce tampon correspond très

souvent à une ligne de texte saisie par l'utilisateur. Une valeur traditionnelle est le caractère ASCII 24 qui correspond au caractère d'annulation (appelé caractère « *cancel* »). On génère le code de ce caractère en tapant simultanément « CTRL + X » sur le clavier d'un terminal asynchrone.

18. Caractere d'affichage d'une ligne (ASCII/IA5)

Ceci permet d'afficher sur une nouvelle ligne du terminal le contenu complet du tampon du PAD. Ceci peut être utile pour vérifier l'état de ce tampon après avoir initialisé un grand nombre de suppressions de caractères. Comme pour les paramètres 16 et 17, il faut que le paramètre n°15 soit positionné à 1 pour que ce paramètre 18 soit pris en compte. N'importe quel caractère ASCII (sauf NUL) compris entre 1 et 127 peut être utilisé. Cependant, il existe ici aussi une valeur très souvent rencontrée ; c'est celle du caractère ASCII « DC2 » qui vaut 12. Ce caractère est généré par la séquence de touches « CTRL + R » sur le clavier du terminal.

19. Indications d'edition

Ce paramètre définit l'action prise par le PAD lorsqu'il reçoit des commandes d'édition du terminal. Il peut ne pas transmettre d'indication d'édition au terminal ou au contraire lui envoyer des informations adaptées.

20. Masque d'echo

Si le paramètre d'écho n°2 est à 1 (l'écho est actif), ce paramètre permet d'avoir un minimum de contrôle sur cet écho. Certains caractères ou séquences de caractères peuvent ne pas faire l'objet d'un écho si le terminal l'a décidé.

21. Traitement de la parite

On décide ici si le contrôle de la parité doit être mis en œuvre ou non. En général, cette fonction n'est pas activée et ce paramètre sera positionné à 0, ce qui indique que ce service n'est pas requis.

22. Attente en fin de page

Ce paramètre permet la mise en page des données à envoyer vers le terminal. Par exemple, si le terminal peut afficher 24 lignes et que ce paramètre vaut 24, le PAD attendra d'avoir 24 lignes de données à émettre. Une fois cette transmission effectuée, il attendra un caractère quelconque en provenance du terminal après quoi il émettra 24 nouvelles lignes d'information.

La recommandation X.28

La recommandation X.28 définit les procédures mises en œuvre pour qu'un terminal asynchrone accède aux services offerts par un PAD attaché à un réseau public de transmission de données. Cet attachement est théorique ; disons que c'est une vue plus logique que physique. On définit ici les mécanismes de contrôle utilisés pour réaliser la connexion avec le PAD, les commandes que l'utilisateur peut envoyer à ce PAD et les signaux de service que le PAD peut émettre vers le terminal. Lorsque l'utilisateur accède au PAD via le réseau téléphonique (comme c'est le cas en figure 7.4), le protocole X.28 impose qu'un code d'identification (le NUI rencontré pendant le chapitre précédent) soit décliné par cet utilisateur. Cette contrainte n'a rien de technique ; c'est un besoin lié à la facturation.

La connexion physique

La figure 7.6 montre que X.28 définit V.24 et V.28 (RS-232) pour l'attachement à travers le réseau téléphonique et X.20 si on utilise une ligne spécialisée entre le terminal asynchrone et le PAD. X.28 spécifie également le protocole utilisé pour l'échange de caractères entre le terminal et le PAD.

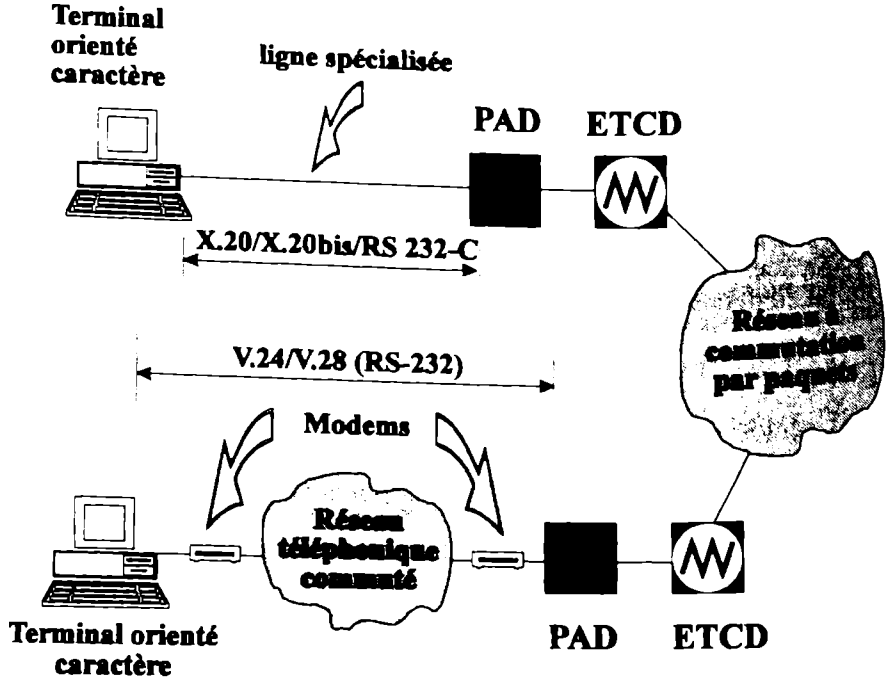


Figure 7.6 - La recommandation X.28 avec les différences entre l'utilisation d'une ligne commutée avec modem via le réseau téléphonique et celle d'une ligne spécialisée.

Les états de l'interface

Il existe trois états possibles entre un PAD et un terminal asynchrone. Ce sont les états *attente PAD*, *transfert de données* et *attente de commande*.

ATTENTE PAD

Dans cet état, la connexion physique entre le PAD et le terminal asynchrone est établie et le PAD attend des informations liées à la configuration de la communication de la part du terminal. De plus, avant que toute information de ce type ne soit transférée, le terminal peut lire ou positionner les paramètres PAD (ceux que nous avons décrits plus haut).

Le PAD reviendra à cet état dès que la communication sera libérée en supposant, bien entendu, que la connexion entre les deux équipements est toujours maintenue.

TRANSFERT DE DONNEES

A ce moment, un circuit virtuel est établi entre le PAD et le terminal. Dans cet état, le PAD est transparent pour le terminal et le correspondant distant appelé.

ATTENTE DE COMMANDE

Cet état n'est possible qu'à partir de la phase de transfert de données. On y accède dès que le terminal asynchrone désire soit modifier les paramètres PAD, soit libérer la communication.

Les commandes X.28

A ce jour, la recommandation X.28 propose d'utiliser les 8 commandes suivantes :

***Tableau** 7.2 - Liste des commandes X.28.*

Commande	Description
STAT	Etat de la liaison
CLR	Libération de la communication
PAR?	Affichage des paramètres
SET	Positionnement de paramètres
SET?	Affichage et positionnement
PROF	Accès à un profil
RESET	Réinitialisation
INT	Interruption

Voici une description plus détaillée de chacune :

1. STAT

La commande STAT demande des informations sur l'état du circuit virtuel en cours d'utilisation. A titre d'exemple, on obtiendra la réponse « ENGAGED » si la communication est établie sur ce circuit.

2. CLR (ou LIB)

CLR libère la communication en cours. On rencontre pratiquement systématiquement la commande LIB qui a le même effet.

3. PAR?

C'est un abréviation pour « Paramètres ? ». Le PAD dresse alors la liste de tous les paramètres PAD associés à leurs valeurs et retourne un message formaté au terminal.

4. SET

La commande SET permet le positionnement d'un ou plusieurs paramètres PAD. Par exemple, la commande SET 2:1 donne la valeur 1 au paramètre PAD n°2, ce qui rend l'écho actif.

5. SET?

C'est une commande identique à la précédente avec l'affichage de la liste des paramètres PAD en retour. On pourrait écrire de façon schématique que SET? = SET + PAR?.

6. PROF

C'est l'abréviation de profil. Cette commande permet à l'utilisateur d'activer un des 22 profils établis et stockés dans les tables du PAD. Par exemple, PROF 1 demande l'utilisation du profil n°1. Les réseaux publics tels que TRANSPAC proposent certains profils particuliers.

7. RESET

RESET réinitialise le circuit virtuel.

8. INT

INT entraîne l'envoi d'un interruption par le PAD.

Les signaux de service

Les signaux de service envoyés par le PAD à destination du terminal sont souvent appelés *réponses X.28*. Elles sont implémentées sous forme de codes qui transmettent des informations d'état vers le terminal.

La recommandation X.29

Fonctionnement standard

Rappelons que la recommandation X.3 permet la configuration et le contrôle d'un PAD par tout terminal asynchrone connecté à ce PAD. X.29 remplit une fonction identique excepté que le PAD est maintenant contrôlé par l'ETTD distant. Cet ETTD distant peut être un autre PAD, un site central ou tout autre équipement travaillant en mode paquet (voir figure 7.7). Par l'intermédiaire du PAD, un terminal asynchrone pourra également configurer l'ETTD distant. C'est là une application assez fréquente.

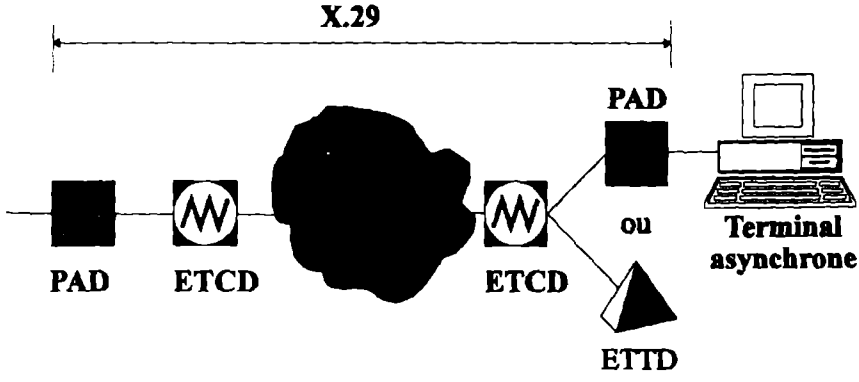


***Figure 7.7** - La recommandation X.29 détaille les mécanismes d'échange de données utilisateur et d'informations de contrôle entre un PAD et un ETTD distant. Ce dernier peut être un site central, un autre PAD ou tout simplement un ETTD ordinaire.*

Puisque l'ETTD ou le PAD utilisent le protocole X.25 pour interfacer le réseau, tous les mécanismes d'établissement de la communication, de rupture de la communication, de réinitialisation et de transfert de données suivent les procédures recommandées par X.25 et utilisent les paquets dont nous avons décrit le format au chapitre précédent. Les informations à destination du PAD sont encapsulées dans la partie données utilisateur des paquets.

On montre en figure 7.8 le format de la demande d'appel. Le champ données utilisateur du paquet d'appel peut contenir un maximum de 16 octets. Lorsque l'on est connecté face à un PAD, ce champ est divisé en deux parties. Les quatre premiers octets sont appelés champ identifiant

du protocole. Les deux bits de poids fort du premier octet sont codés de façon à désigner un type de protocole de la manière suivante :

00	Le CCITT
01	Une entité nationale
02	Une entité internationale
03	Utilisation de ETTD vers ETTD

Les six derniers bits de cet octet indiquent le protocole. Les trois octets qui restent sont réservés pour une utilisation future et valent toujours 0.

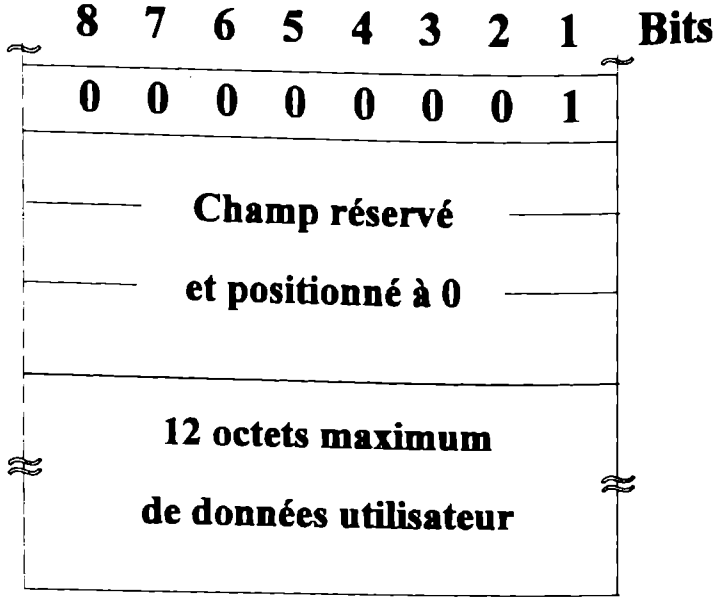


***Figure 7.8** - Les informations X.29 sont encapsulées dans le champ données utilisateur des paquets. Dans cet exemple, on a utilisé un paquet de demande d'appel.*

Fonctionnement de PAD à PAD

La version 1980 de X.29 autorise des PADs à communiquer directement entre eux sans l'intervention d'un ETTD (c'est-à-dire sans équipement en mode paquet). Les possibilités offertes par ce genre de service ne sont pas définies mais on suppose qu'il faut utiliser les formats et mécanismes propres à X.29. Ceci dit, le sujet est ouvert et d'autres procédures peuvent très bien s'appliquer. Il est préférable d'utiliser des profils PAD prédéfinis.

Auto-évaluation

1. Que signifie l'abréviation PAD ?

2. Expliquer la différence entre un terminal connecté en mode paquet et un terminal connecté en mode caractère.

3. Donner les cinq fonctions principales d'un PAD.

4. Quelles sont les trois recommandations du CCITT traitées dans ce chapitre ?

5. Combien y-a-t-il de paramètres PAD (dans la version X.25/X.3 de 1984) ?

6. Que désigne le paramètre PAD n°2 ?

7. Quels sont les trois états principaux de l'interface entre un PAD et un terminal asynchrone (orienté caractère) ?

8. Combien de commandes X.28 a-t-on spécifiées ?

9. Quelle est la différence majeure entre X.29 et les autres recommandations étudiées ici ?

10. Quelle commande X.28 faut-il taper sur un terminal asynchrone pour libérer la communication établie avec un ETTD distant via un PAD ?

CHAPITRE 8

LA CONCEPTION D'UN RESEAU

Qu'est ce qu'un réseau de communication ?

Sur la figure 8.1, on peut voir quelques micro-ordinateurs utilisés de manière assez différente. En haut, on trouve un PC non connecté à d'autres équipements et donc entièrement autonome. Au milieu du graphique se trouvent quatre PCs interconnectés se partageant une imprimante. Les contraintes physiques au niveau du câblage font que ces quatre appareils seront systématiquement dans le même immeuble. Une telle configuration s'appelle un réseau local (on utilise parfois le terme *LAN* pour *local area network*). Au bas de la figure 8.1, nous trouvons un PC connecté à un réseau à commutation par paquets via un PAD. Cette station peut communiquer avec toutes les autres machines qui sont accessibles à partir de ce réseau, et cela à travers la planète entière. Par opposition au réseau local, on définit ici un réseau longue distance ou étendu (on rencontrera l'appellation *WAN* pour *wide area network*). De façon un peu abusive, on dira qu'un réseau WAN est plutôt un réseau national, voire international. Un réseau local sera d'avantage assimilé à un réseau physiquement limité à un immeuble. Ce n'est sûrement pas une définition parfaite mais elle suffit amplement à notre chapitre. La figure 8.1 montre enfin dans sa partie droite un LAN connecté à un WAN. Remarquez qu'un des PC du réseau local se comporte comme une passerelle vers le réseau étendu.

Pourquoi déployer un réseau ?

Dans la présentation faite au chapitre 1, nous avons vu qu'un réseau informatique permet des communications efficaces entre utilisateurs. C'est aussi un moyen de partager des ressources rares ou chères. Au début, les réseaux informatiques d'ordinateurs permirent à de nombreux utilisateurs d'accéder et de partager de grandes puissances de traitement sur un seul et même système dont le prix était par ailleurs très élevé. Les ordinateurs ont ensuite été interconnectés pour fournir des architectures toujours plus tolérantes aux pannes avec un partage intensif de l'ensemble des ressources des systèmes.

Les réseaux conformes au modèle OSI de l'ISO (International standardization organisation) permettent l'interconnexion de très nombreux systèmes et périphériques hétérogènes. C'est encore une avancée qui rend l'utilisation des ressources informatiques et des

services toujours plus efficace. Un exemple parlant est donné par la possibilité pour des terminaux non intelligents d'atteindre des réseaux autant sophistiqués que riches en services. Un terminal asynchrone de bas de gamme pourra ainsi accéder à des imprimantes rapides ou à une messagerie électronique. On trouvera de grands avantages à bien structurer son réseau car une architecture bien pensée au départ permettra des montées en puissance et des redimensionnements sans contrainte et en accord avec les différentes exigences à respecter.

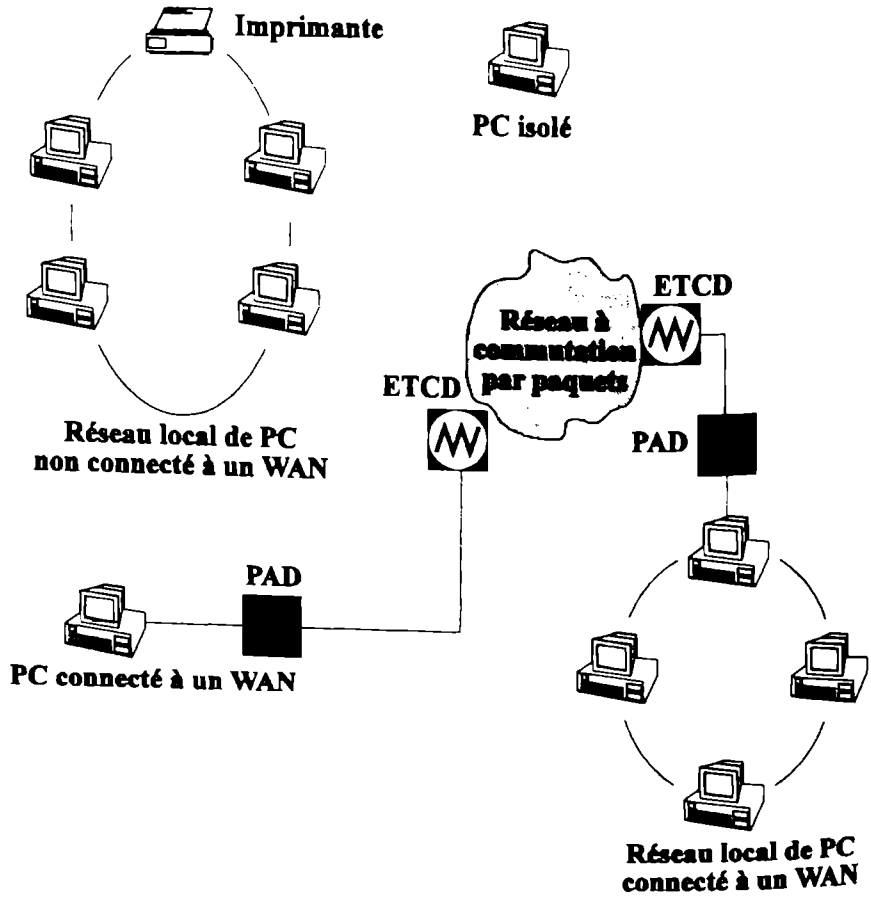


Figure 8.1 *- Le PC du haut est un poste isolée. On trouve à droite un réseau local connecté à un réseau étendu et en bas à gauche un PC également relié à ce réseau. Sur la gauche, on trouve un autre réseau local non connecté à un WAN cette fois.*

L'intérêt d'un réseau à commutation par paquets

On dresse ici une liste de cinq caractéristiques qui sont les avantages majeurs d'un réseau à commutation par paquets ; on aurait dû mentionner avant tout cela l'avantage évident de bénéficier d'une sécurité de fonctionnement et de transferts de données sans erreur.

1. Intégration de systèmes hétérogènes.
2. Transparence des réseaux.
3. Difficulté de mise en œuvre minimale pour l'utilisateur.
4. Vastes possibilités d'achat d'équipements.
5. Pérennité de la solution.

Nous allons maintenant détailler ces cinq points :

Intégration de systèmes hétérogènes

C'est le domaine où l'architecte réseau trouvera les avantages les plus marquants. La figure 8.1 présente un bon exemple d'intégration de composants hétérogènes. Les PC de la droite sont tous connectés à un réseau local. Supposons que ce soit un réseau local de type *Token Ring*. C'est une topologie propre à IBM et totalement incompatible avec X.25. Cependant, grâce à l'utilisation d'une passerelle, l'architecte du réseau sera capable d'interconnecter ce réseau local à un réseau longue distance qui à son tour pourra communiquer avec d'autres réseaux locaux. De façon identique, des sites centraux de constructeurs différents pourront dialoguer en utilisant X.25 comme interface commune au réseau.

Les possibilités d'intégration de nouveaux équipements dans cette architecture sont pratiquement illimitées, pour autant que les fournisseurs d'équipements informatiques équipent leurs systèmes de solutions logicielles supportant des interfaces conformes au modèle OSI.

Transparence des réseaux

Les utilisateurs peuvent maintenant communiquer à partir de n'importe quel point d'accès au réseau. L'utilisation de l'interface X.25 et du modèle OSI permet d'imaginer des configurations très sophistiquées avec de riches fonctionnalités. Supposons qu'un utilisateur (M. Smith) se trouve à Londres et qu'il désire accéder à une messagerie électronique à partir de son PC. L'ordinateur qui héberge le système de messagerie est peut-être à New York et les interlocuteurs de M. Smith sont certainement répartis dans le monde entier. Mieux même, ils peuvent être mobiles dès lors qu'ils connaissent une procédure locale pour accéder à un réseau public de transmission de données à commutation par paquets. Les utilisateurs de tels réseaux ne soupçonnent pas l'infrastructure déployée pour satisfaire leurs besoins.

Difficulté de mise en œuvre minimale pour l'utilisateur

Les réseaux à commutation par paquets rendent les choses beaucoup plus simples pour l'utilisateur final du réseau. Même si certains accèdent à leurs applications en composant un numéro de téléphone, la plupart sont connectés grâce à une carte X.25 ou une passerelle du réseau local

ou encore un PAD. Dans tous les cas, le mode de connexion est très simple et peut être entièrement automatisé.

Vastes possibilités d'achat d'équipements

X.25 étant devenu une norme éprouvée et populaire, les fournisseurs d'équipements informatiques sont en grande compétition commerciale sur le créneau des moyens de communications qui utilisent ce standard. Cela va du plus puissant au plus simple comme un petit PAD à huit entrées. Prenons l'exemple d'une société qui a produit des commutateurs X.25 supportant des liaisons à 19 200 bits par seconde pendant quelques années. Ses nouveaux modèles sortent maintenant avec de nettes améliorations de performances puisqu'ils atteignent 64 000 bits par seconde. Le client qui possède déjà une certaine quantité d'anciens commutateurs peut augmenter la puissance de certains et ainsi améliorer le rendement de tout ou partie de son réseau. Les anciens et nouveaux équipements peuvent cohabiter. Le gestionnaire du réseau a aussi tout le loisir de choisir un nouveau fournisseur si tel est son choix. La mise en œuvre de réseaux X.25 rend facile la construction de réseaux hétérogènes. De plus, l'expérience montre que des réseaux basés sur la norme X.25 ne génèrent par de suréquipement comme c'est très souvent le cas dans le monde de l'informatique. Les réseaux bien dimensionnés restent stables plus longtemps que les unités centrales.

Robustesse de la solution

C'est un point clé lorsque l'on conçoit un réseau. En matière de communications informatiques, ce terme décrit la faculté qu'ont les réseaux à résister à des pannes de lignes ou d'équipements associés. Nous verrons plus tard qu'un réseau à commutation par paquets devrait toujours avoir une possibilité de chemin alterné de secours pour l'envoi des paquets dans l'hypothèse où le chemin principal serait hors d'usage. Sans trop entrer dans les détails, illustrons cela par la figure 8.2 où le réseau est constitué de trois nœuds de commutation appelés A, B et C. Si la ligne entre A et B est hors d'usage, le réseau pourra router les données de A vers B en passant par C. C'est cette possibilité d'avoir un chemin secondaire qui constitue un avantage considérable pour ce type de réseaux. Ce mécanisme peut en outre être entièrement automatisé. Aucune intervention humaine n'est nécessaire pour qu'une telle reconfiguration ait lieu et l'utilisateur du réseau n'est pas au courant que ses informations ne passent pas par la même route que d'habitude.

Les chapitres 4 et 5 ont montré que les niveaux trame et paquet de X.25 permettent de reprendre efficacement une communication rompue par suite de panne. Il est *pratiquement* impossible de perdre des données dans un réseau bien conçu.

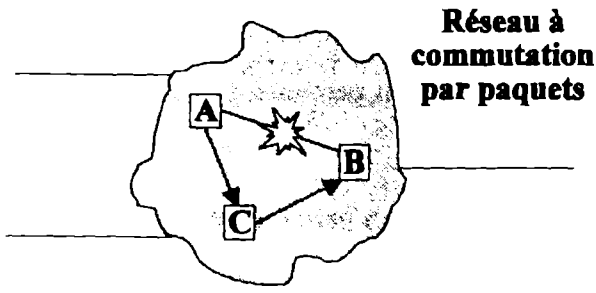


***Figure 8.2** - La fiabilité d'un réseau commuté consiste à trouver un chemin de secours pour acheminer les données lorsque la ligne principale est hors service. Ici, le lien principal entre A et B est défaillant ; le réseau routera les informations via C.*

Introduction à la conception de réseau

Le processus de conception de réseau

Le processus de conception de réseau, comme tout autre fonction de gestion et d'administration d'une quelconque organisation, est un moment où il faut attribuer de trop rares ressources pour résoudre un problème donné. En particulier, en matière de réseaux, la tâche consiste à déployer des ressources matérielles et logicielles pour satisfaire les exigences des utilisateurs tout en respectant les contraintes budgétaires imposées par l'entreprise. Le résultat de cette phase sera la conception du réseau, une description expliquant comment les ressources seront déployées, une cartographie des implantations matérielles et un inventaire des différents modes d'interconnexion.[1]

Ceci peut être résumé par le schéma 8.3 :

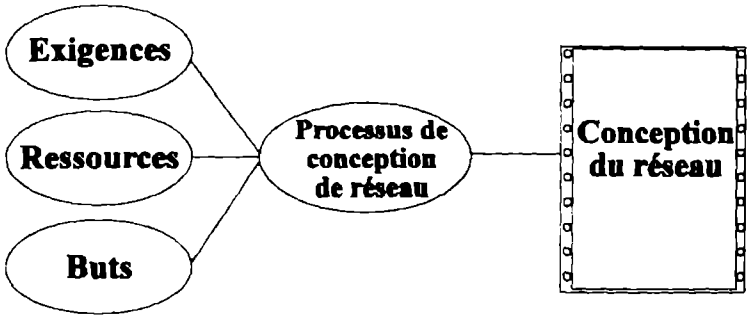


***Figure 8.3** - Le processus de conception de réseau.*

1 Extrait de *"Designing data networks"* de Robert L. Ellis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, Etats-Unis, 1986.

Les ressources réseau

Ce sont ces ressources qui permettent de gérer les attentes que les utilisateurs placent dans le réseau. On ne part jamais de rien lorsque l'on conçoit un réseau ; il existe pratiquement toujours des éléments d'un réseau existant sur chaque système.

Les principales composantes parmi les ressources réseau sont :

1. *Les lignes* : elles permettent l'interconnexion des différentes parties d'un réseau. Une entreprise peut très bien louer des lignes à haute vitesse qui seront utilisées pour la structure centrale d'un réseau à commutation par paquets. On pensera à améliorer cette configuration en utilisant des liaisons par satellites, des fibres optiques ou des liaisons hertziennes; la bande passante n'en sera que meilleure.

2. *Les équipements matériels* : c'est l'ensemble des composants matériels qui constituent le réseau. On pourra citer les terminaux, les PADs, les commutateurs de paquets, les modems.

3. *Le logiciel* : Les programmes et logiciels qui pilotent le réseau peuvent être classés en plusieurs catégories principales :
   (a) Les communications.
   (b) La gestion du réseau.
   (c) Les applications utilisateur.

Les exigences en matière de charge du réseau

L'estimation de la charge globale d'un réseau est une des raisons principales qui provoquent des maux de tête chez le concepteur d'un réseau. On prendra soin d'allouer les ressources en prévision d'extension et de charge futures.

Les buts à atteindre

Ce sont les critères de mesure qui permettront de statuer sur l'adéquation entre les choix de conception et les demandes formulées. Dans tous les cas, on sera amené à trouver un compromis entre les coûts et les performances, bien qu'il ne devrait pas y avoir de choix pris aux dépens de la qualité du service fourni à l'utilisateur.

Les ressources réseau : lignes, commutateurs et PADs

L'utilisation d'un réseau à commutation par paquets comporte quelques inconvénients. Les deux principaux sont le coût induit par ces transmissions de qualité optimale d'une part, le besoin d'utiliser un protocole commun tel que X.25 pour fournir une interface universelle.

Les concepteurs de réseaux ne peuvent pas échapper à l'implémentation de nouveaux protocoles mais ils peuvent par contre

influer sur le facteur coût grâce à une analyse fine des ressources à mettre en place ; cela permettra l'installation d'équipements bien dimensionnés. On déterminera ainsi la taille optimale des commutateurs, des PADs et des lignes de communication. De nombreux fournisseurs de réseaux possèdent des outils de modélisation qui apportent des informations intéressantes sur les besoins potentiels.

Les lignes

Les lignes sont les liens physiques qui relient les différents équipements matériels d'un réseau. On les appelle aussi circuits, liaisons, brins, liens de communication ou lignes de transmission. Le chapitre 3 nous a présenté les standards qui s'appliquent aux lignes de communication.

Analogiques ou numériques ?

Il est fréquent de nos jours de choisir des liaisons numériques à 64 ou 56 Kbps (kilobits par seconde). Ce ne sera pas le cas si on conçoit un très petit réseau. Les liaisons numériques sont des médias de communications qui offrent une sécurité de fonctionnement beaucoup plus grande que les liaisons analogiques. Les circuits analogiques sont tout simplement ceux utilisés pour les liaisons téléphoniques de base. Les meilleures sont celles qui sont certifiées pour fonctionner à un débit donné pour lequel l'opérateur réseau s'engage. Les liaisons numériques sont permanentes et nécessitent une terminaison de réseau chez l'utilisateur. On peut raisonnablement estimer le coût d'une liaison numérique avec une unité Franc par kilobits par seconde.

Par exemple, si on suppose que le coût mensuel actuel d'une ligne numérique à 19,2 Kbps est environ 10 000 FF en France. Le coût par kilobits par seconde est donc de :

10 000 FF / 19,2 = 520,83 FF/Kbps

A la même époque, le prix mensuel d'un abonnement à 128 Kbps est de 18 900 FF. Le coût par kilobits par seconde est alors:

18 900 FF / 128 = 147,66 FF/Kbps.

Ramené au prix du kilobit par seconde, on voit clairement que le coût d'une ligne à 128 Kbps est 3,5 fois moins cher que celui d'une liaison du même type à 19,2 Kbps.

Certaines applications imposent des vitesses supérieures à 128 Kbps. Dans ce cas, certains opérateurs tels que France Télécom ont une offre de liaisons haute vitesse qui peuvent fonctionner entre 2 Mbps et 140 Mbps.

Le choix d'un commutateur de paquets

Les commutateurs de paquets sont les composants clés de tous les réseaux. Si leur configuration est sous-dimensionnée, il se produira des

congestions importantes pouvant se propager sur l'ensemble du réseau. Heureusement, les fournisseurs de commutateurs publient des documentations techniques sur leurs produits où on trouvera les performances annoncées à partir d'informations statistiques issues de tests en charge. Il est clair qu'il ne s'agit que d'une indication car chaque application et chaque utilisation d'un produit le feront réagir de façon parfois très différente.

Les performances d'un commutateur

Il faut bien se rappeler que chaque passage d'un paquet au travers d'un commutateur provoque un délai dû au temps de traitement de ce paquet par le logiciel du commutateur. Le paquet ne traverse pas le commutateur de façon directe; les informations de supervision (comme les adresses) sont lues et traitées par l'électronique du commutateur. Ce dernier doit aussi donner satisfaction aux requêtes formulées par l'ensemble des autres lignes connectées.

Les fournisseurs de commutateurs chiffrent le débit de leurs appareils en nombre de paquets par seconde. C'est le nombre maximum de paquets qu'un commutateur (ou PAD) peut théoriquement traiter en une seconde. Un autre facteur important pour l'évaluation des performances est la vitesse des lignes connectées (de la ligne dans le cas d'un PAD). On parle de vitesse du brin X.25. En utilisant ces deux indicateurs de mesure, le concepteur de réseau peut établir une comparaison entre différents types d'équipements.

Un autre paramètre est très souvent donné par les fournisseurs de commutateurs : c'est le débit ligne cumulé (noté *ALR* pour *Aggregate link rate*). La somme de tous les débits des lignes connectées ne doit pas dépasser cette valeur. Par exemple, si un commutateur annonce un débit ligne cumulé de 154 Kbps, il pourra supporter 16 brins à 9 600 bps chacun puisque 16*9 600 = 154 000. Si le commutateur n'avait qu'un débit cumulé de 120 Kbps, il faudrait éliminer certaines lignes ou abaisser le débit d'un certain nombre d'entre elles. Cependant, on aura des problèmes que seulement dans les cas limites où toutes les liaisons d'un commutateur sont utilisées à plein régime. Ceci dit, c'est un bon indicateur pour le dimensionnement d'un réseau.

Commutateurs d'entrée de gamme

Ils ne servent que pour de petits réseaux ou alors pour équiper certaines portions d'un réseau principal qui ne nécessitent pas un fort débit. Typiquement, un commutateur d'entrée de gamme de faibles performances supporte un maximum de 16 lignes dont le débit ne dépassera pas 9 600 bps. La taille des paquets peut aussi être limitée ; ce sera très souvent 256 octets au maximum. Il faut aussi prendre en compte le nombre maximum de circuits virtuels qui pourront être initialisés à un instant t. Une valeur telle que 50 peut paraître confortable, mais dès lors que le commutateur gère 16 lignes, cela voudrait dire que chaque liaison ne verra qu'environ 3 circuits virtuels établis (en moyenne si toutes les lignes sont actives). En définitive, le débit en terme de paquets par seconde sera plutôt bas. On classe dans ce

groupe les commutateurs dont le débit ne dépasse pas les 50 paquets par seconde.

Commutateurs de performance moyenne

Les appareils de cette catégorie supportent une grande variété d'interfaces qui autorisent des communications très rapides. Ce sont les standards X.21 bis, X.21 et V.35. Ces commutateurs seront très souvent connectés sur des lignes à haut débit tel que 64 Kbps. Des taux tels que 500 paquets à la seconde sont assez représentatifs des performances de ce genre d'équipements dont le débit ligne cumulé peut atteindre 500 Kbps. Le nombre de circuits virtuels simultanés sera généralement compris entre 250 et 1 000.

Commutateurs à haute performance

Les commutateurs haut de gamme sont généralement capables de supporter des lignes à 2 Mbps et ont des débits compris entre 500 et 2 000 paquets à la seconde.

Le choix d'un PAD

Les performances d'un PAD

Les PADs peuvent être regroupés en trois catégories de la même façon que pour les commutateurs. On trouvera des PADs d'entrée de gamme de performance faible, de milieu de gamme et de haut de gamme dont les performances sont élevées.

PADs de faible performance

Ce genre de PAD n'est équipé que d'un micro-processeur. La figure 8.4 présente un exemple de PAD d'entrée de gamme. Sa configuration maximale est constituée de 4 portes asynchrones et une liaison X.25. Cette dernière a un débit d'au plus 9 600 bps et c'est aussi le cas des 4 liaisons asynchrones. On trouvera très souvent une possibilité d'extension à l'aide d'une carte complémentaire à installer dans l'appareil pouvant piloter 4 nouvelles connexions asynchrones.

La plupart de ces PADs furent conçus pour fournir une interface X.25 à des terminaux non-intelligents de type caractère ; cette fonction était parfaite jusqu'à l'arrivée des micro-ordinateurs dont les capacités à communiquer sont nettement supérieures. Avec ces terminaux, le débit de la transmission dépendait directement de la vitesse de frappe de la personne qui s'en servait. Avec un ordinateur personnel, on peut préparer les données, les stocker sur disque ou en mémoire puis les envoyer au PAD connecté à un débit régulier de 9 600 bps par exemple. Même avec un contrôle de flux, un PAD d'entrée de gamme à 16 portes aura un mal certain à assurer une communication avec un débit correct sur les 16 liaisons asynchrones de façon continue.

Cet état de fait est encore aggravé si la transmission est inverse, notamment si le site central tente d'envoyer des données sur ces portes

asynchrones. Elles sont beaucoup moins performantes que n'importe quel contrôleur de communication d'un grand système et cela provoquera des engorgements.

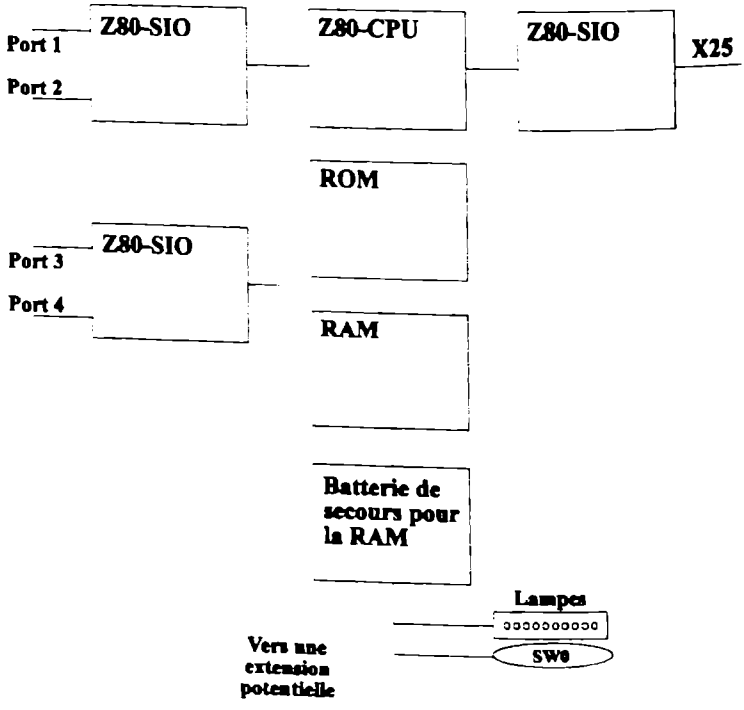


Figure 8.4 - L'architecture typique d'un PAD d'entrée de gamme.

PADs de performance moyenne

Ici, nous avons affaire à des équipements dont le processeur est plus puissant. La caractéristique principale de ce type de PAD est de supporter des lignes X.25 à 64 Kbps. Les liaisons asynchrones iront jusqu'à 19,2 Kbps. Pour une taille de paquet de 128 octets, le débit d'un tel PAD sera de l'ordre de 50 à 100 paquets à la seconde.

PADs de haut gamme

De très nombreux développements sont réalisés dans ce domaine. On peut citer les caractéristiques principales de cette classe de PAD, à savoir un débit d'au moins 100 paquets (de 128 octets) par seconde, une vitesse de la ligne X.25 d'au moins 64 Kbps.

LES COMMUTATEURS/PAD

Ce sont des équipements hybrides qui combinent les fonctions d'un commutateur avec celles d'un PAD. Un modèle assez typique pourrait être un appareil qui supporte 8 à 16 lignes X.25 de débit inférieur ou égal à 19,2 Kbps et 16 portes asynchrones à 19,2 Kbps.

Un tel commutateur/PAD est idéal pour jouer le rôle d'un concentrateur ou tout autre composant de petits réseaux à commutation par paquets.

Structures de réseaux

Topologies de réseaux

La topologie d'un réseau est sa structure physique et de façon plus précise la manière avec laquelle les équipements principaux sont interconnectés. Tous les réseaux peuvent être classés dans une des catégories suivantes :

1. Réseau en étoile.
2. Topologie bus.
3. Réseau en anneau.
4. Réseau Arborescent.
5. Réseau maillé (dont les réseaux heuristiques).

RESEAU EN ETOILE

La configuration en étoile est une structure de réseau très simple comme le montre la figure 8.5. Chaque composant principal possède sa propre liaison vers le système central. Si une ligne est hors service, seuls les équipements connectés sur cette ligne seront privés du service. Dans cette configuration, il n'y a pas de chemin de secours. La vitesse est le grand avantage d'une telle topologie. Les connexions entre la ressource centrale et les composants majeurs du réseau sont directes ; il n'y a pas d'équipements de commutation à traverser dans ce cas.

Cette topologie n'est pas utilisée dans le cas des réseaux à commutation par paquets. Elle est par contre mise en œuvre dans le cas de réseaux locaux. Le câblage d'un réseau local Token Ring d'IBM est basé sur une série d'étoiles interconnectées.

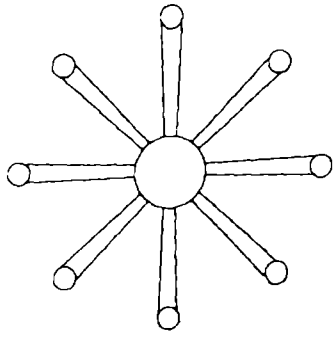


Figure 8.5 (a) *- Une structure de réseau en étoile obéit à un modèle théorique de cette forme. On parle de topologie étoile.*

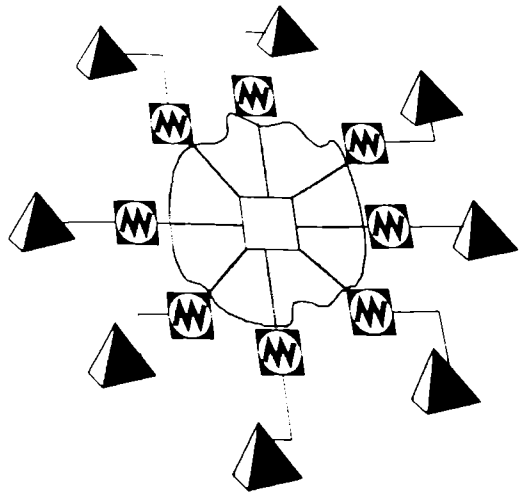


Figure 8.5 (b) *- Un réseau en forme d'étoile. Remarquez que ce modèle ne s'applique pas aux réseaux à commutation par paquets.*

TOPOLOGIE BUS

La structure en bus n'est pratiquement jamais utilisée dans le monde des réseaux à commutation par paquets. C'est une configuration qui convient par contre très bien aux réseaux locaux. On la rencontre aussi souvent dans le domaine de la robotique (voir figure 8.6).

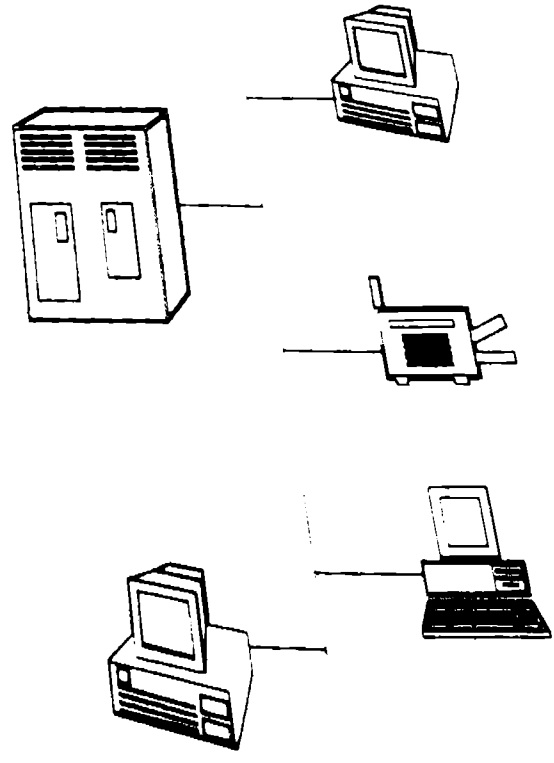


Figure 8.6 - *La structure de réseau en bus.*

RESEAU EN ANNEAU

Le meilleur exemple de cette topologie est fourni par la structure de Token Ring, le réseau local d'IBM. Elle est rarement rencontrée dans le domaine des réseaux à commutation par paquets de grande envergure. Reportez-vous à la figure 8.7.

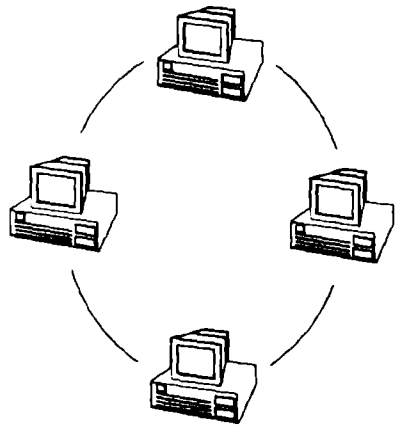


***Figure 8.7** - La structure en anneau.*

RESEAU ARBORESCENT

C'est une méthode souvent rencontrée pour connecter des terminaux à un réseau à commutation par paquets. C'est encore plus vrai lorsque l'application privilégie le sens site central vers stations comme c'est le cas sur les systèmes de diffusion de messages, de logiciels ... On peut prendre comme exemple le cas de nombreuses imprimantes connectées à un réseau qui seraient toujours en attente de messages.

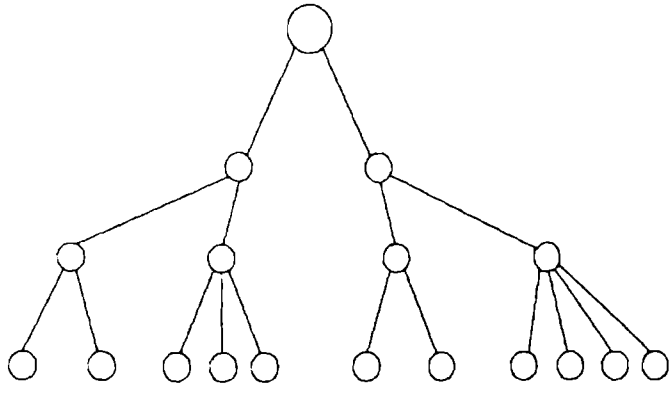


***Figure 8.8 (a)** - Le modèle théorique de la structure arborescente.*

Une structure arborescente est conçue de façon multicouche avec des liaisons entre les différents nœuds du réseau. Les couches hautes sont souvent reliées entre elles par des lignes rapides et des commutateurs performants. Plus on descend dans l'arborescence, moins on a affaire à des équipements sophistiqués. Les éléments terminaux des branches de l'arbre seront par exemple les imprimantes que nous citions ci-dessus connectées sur des PADs d'entrée de gamme.

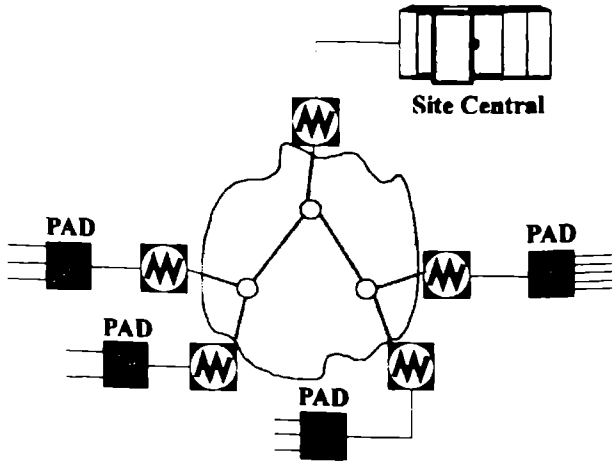


Figure 8.8 (b) *- Un cas pratique de réseau arborescent avec 4 PADs permettant de connecter 13 périphériques vers le site central.*

RESEAU MAILLE

La topologie maillée est sans nul doute la plus fréquente dans le monde des réseaux à commutation par paquets. Les réseaux maillés reposent sur un principe simple : on suppose qu'il y a toujours une ressource ligne disponible pour aller d'un point à un autre. On pourra ainsi toujours trouver un chemin disponible pour joindre un correspondant donné même si le réseau est engorgé ou si une ligne principale plus directe est hors service. De nombreux fournisseurs de réseaux à commutation par paquets préfèrent implémenter cette topologie car les fonctions de gestion et de supervision du réseau sont plus faciles à développer, surtout dans le cas de reprise sur incident grave. La génération d'informations de routage et reroutage est également plus aisée. Dans le cas général, on tendra à équiper un tel réseau de commutateurs de paquets de performances homogènes pour conserver un équilibre le plus fort possible. Sur un réseau à trois lignes (trois nœuds avec trois lignes entre eux), le cas le plus défavorable à considérer est celui où une ligne seulement est hors service ; le maillage ne serait plus opérationnel si deux lignes sur trois étaient défaillantes.

De nombreux réseaux internationaux sont construits sur ce modèle maillé. La fiabilité n'est pas la seule raison. Avec ce genre de configuration, il est facile et rapide d'étendre la capacité d'un réseau.

Tout ceci nous conduit assez naturellement vers un nouveau modèle de réseaux ; on les appelle réseaux heuristiques.

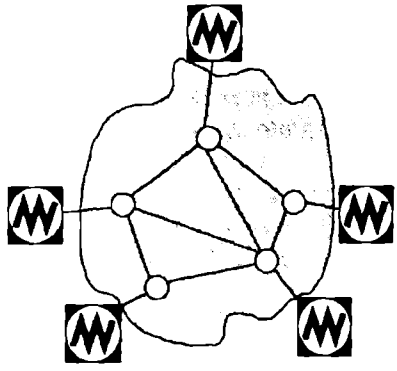


Figure 8.9 *- Un exemple de réseau maillé.*

RESEAUX HEURISTIQUES

La définition de *heuristique* trouvée dans le dictionnaire est la suivante : « Qui a une utilité dans la recherche, notamment la recherche scientifique ; qui aide à la découverte ». Ici, le réseau joue le rôle de l'élève. Il est capable de prendre lui-même certaines décisions. Un réseau heuristique alloue des ressources en cas de besoin et est en apprentissage constant. Ce cycle d'apprentissage est un processus lent. Il est généralement contrôlé par un certain nombre de paramètres positionnés par le concepteur du réseau.

On rencontre ce concept fréquemment avec les réseaux maillés mais il s'applique tout aussi bien aux réseaux arborescents. Expliqué de cette manière, le concept de réseaux heuristiques nous plonge en pleine science fiction et fait penser à des ordinateurs doués de capacité d'apprentissage et d'intelligence. En fait, on met surtout en œuvre des mécanismes de routage dynamique, de théorie des graphes plutôt que de grandes applications de l'intelligence artificielle.

Cette idée n'est pas récente mais elle n'a été rendue possible que depuis l'arrivée de microprocesseurs toujours plus puissants et de moins en moins coûteux.

Cette structure de réseau est pratiquement idéale mais elle présente malheureusement un inconvénient majeur : son coût. Pour fonctionner de façon optimale, un tel réseau nécessite une configuration sur-dimensionnée en matière de lignes haut débit et de commutateurs de paquets. Ceci dit, un réseau heuristique fournit une système de communication presque tolérant aux pannes affichant pratiquement une disponibilité de 100 %, ce que recherche tout concepteur de réseau digne de ce nom.

Performance d'un réseau

Théorie des files d'attente

Dans la vie de tous les jours, une file d'attente est une rangée de personnes qui attendent leur tour. On ne s'intéresse pas à leur raison de faire la queue. Il est plus important de bien comprendre que toute file d'attente est une série de personnes ou d'objets au sens large et que sa profondeur est fonction (a) du nombre de nouveaux arrivants dans la file d'attente, et (b) de la vitesse à laquelle les occupants de la file d'attente sont satisfaits ou servis. La théorie des files d'attente est tout simplement une tentative de modélisation d'un système qui doit minimiser au maximum la longueur des files d'attente sans pour autant perdre son efficacité. Ici encore, nous avons présenté les choses de façon simple mais sachez que les outils mathématiques mis en œuvre dans cette théorie des files d'attente sont loin d'être triviaux.

Nous pouvons représenter une file d'attente à l'aide d'entonnoirs (voir la figure 8.10). Si l'écoulement est équilibré, les débits en entrée et sortie sont identiques comme c'est le cas en (a). Si on diminue le canal de sortie tout en gardant le même débit d'arrivée, nous serons en état de débordement (b). En figure 8.10 (c), on montre enfin une situation inverse de la précédente où on a augmenté le débit en entrée sans modifier la sortie ; nous sommes ici aussi en état de débordement. Cela paraît sûrement trivial, mais c'est la base de la théorie des files d'attente en matière de réseaux à commutation par paquets.

L'exemple de la figure 8.10 montre qu'il est important de connaître le volume de données en entrée d'un système (un commutateur par exemple), le temps de traitement dans l'équipement analysé, et enfin le débit possible en sortie. La figure 8.11 représente ces trois indicateurs.

Si on considère un commutateur de paquets, on a un cas pratique à la théorie des files d'attente. Supposons que ce commutateur est capable de traiter un nombre infini de paquets. Cela supprime donc le problème lié au temps de traitement et seules les vitesses peuvent encore créer un problème de performance. Si le débit en entrée est supérieur à celui de la sortie, le commutateur va finir par s'essouffler car il sera obligé de réguler les entrées en refusant certains paquets et finira par servir de tampon. Cette situation est plus critique qu'il n'y paraît car le commutateur va dépenser une grande quantité de ressources pour absorber les paquets en entrée ; il devra en définitive en rejeter un certain nombre.

Fiabilité

Il est nécessaire de passer en revue les facteurs liés à la fiabilité d'un réseau. C'est souvent un point qui paraît évident mais qu'il faut bien prendre en compte lorsque l'on conçoit un réseau car les implications qui en découlent ne sont pas neutres. On peut définir la fiabilité d'un

équipement comme sa « probabilité de fonctionner sans défaillance dans des conditions données et pendant une période de temps déterminée ».

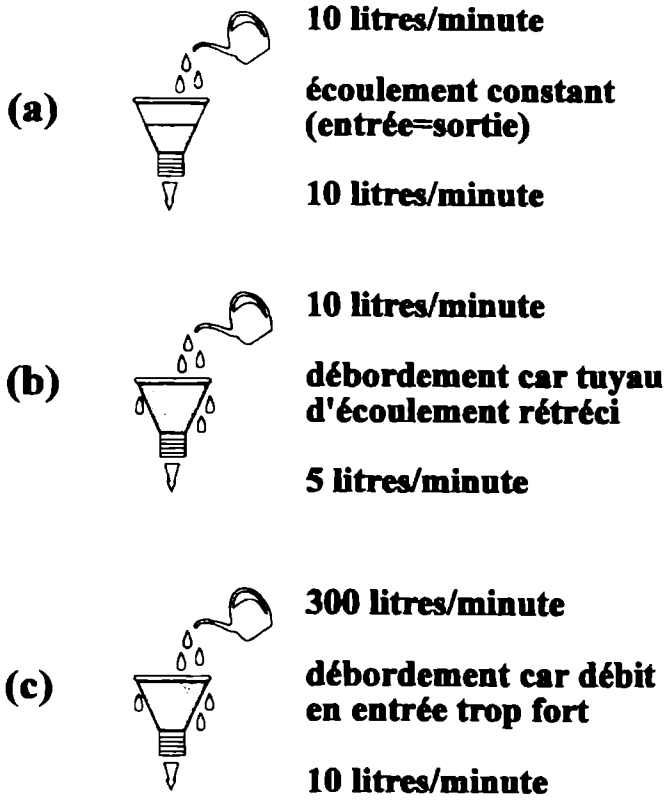


Figure 8.10 *- Illustration simple de la théorie des files d'attente. En (a), l'écoulement est régulier car le débit en entrée est égal à celui en sortie. En (b), l'entonnoir déborde car le canal d'écoulement est insuffisant et en (c), c'est le débit en entrée qui est trop fort.*

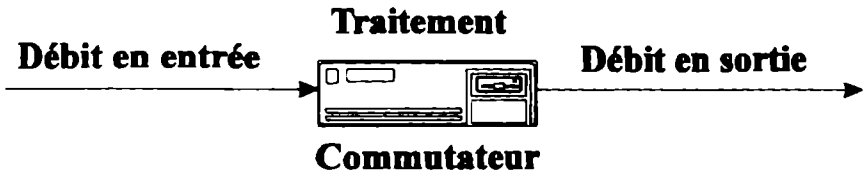


Figure 8.11 *- Les trois variables qui ont un impact sur les files d'attente : le débit en entrée (ou taux d'arrivée), le temps de service de l'équipement et le débit en sortie.*

On peut donc associer trois paramètres à la fiabilité :

1. L'équipement et les performances attendues.
2. Les conditions d'utilisation de cet équipement.
3. La durée de son fonctionnement.

Exprimés ainsi, ces paramètres sont plutôt évidents mais ils sont souvent négligés dans la démarche qui conduit à l'achat d'un équipement réseau. Combien de fois achète-t-on un PAD sans demander à son fournisseur les contraintes en matière de température ambiante ? Un PAD n'est pas systématiquement installé dans une pièce climatisée ; on les trouve souvent dans des locaux non ventilés à températures très variables. On ne pense pas toujours qu'un composant électronique (comme les circuits intégrés que l'on trouve dans ce genre d'appareils) ne lâche pas instantanément lorsqu'il est exposé à la chaleur. Il est soumis à une contrainte thermique qui a pour conséquence de raccourcir sa durée de vie. En d'autres termes, vous avez l'impression de posséder un appareil en état pour longtemps alors que sa fiabilité à long terme est compromise à cause de l'environnement dans lequel il est installé.

L'exemple le plus marquant en matière de fiabilité dans la conception d'un système informatique ou d'un réseau est donné par les différences qui existent entre les spécifications imposées par les militaires et celles généralement admises dans le monde commercial. Un composant utilisé dans un tank dans le désert fonctionne dans un environnement qui n'a rien à voir avec les salles climatisées qui hébergent les ordinateurs civils. Les concepteurs de réseaux oublient très souvent ce point lorsqu'ils commandent des équipements pour les pays d'Afrique ou du Moyen-Orient. Ces équipements réseaux devront être tolérants aux fluctuations de températures, d'alimentation électrique et se passeront parfois d'une maintenance performante au niveau local.

Les indicateurs de fiabilité

L'indicateur de mesure de fiabilité le plus souvent cité est le *temps moyen entre chaque panne* noté MTBF (de l'anglais *mean time between failure*). Le MTBF est un indicateur précieux dans le domaine des télécommunications où les équipements sont constamment en état de marche. En fait, c'est une indication sur la fiabilité potentielle d'un appareil particulièrement intéressante pour comparer des équipements provenant de fournisseurs différents. Deux fabricants peuvent présenter des produits aux performances équivalentes mais avec des MTBF très différents. La règle de décision doit alors tenir compte de cette valeur ; plus elle est élevée, plus le constructeur a fait des efforts en matière de fiabilité. C'est typiquement le cas pour les alimentations électriques où les modèles professionnels ont un MTBF beaucoup plus important que les modèles grand public ; et pourtant ces produits font la même chose.

Un autre indicateur est assez précieux ; c'est le *temps moyen de réparation* noté MTTR pour *mean time to repare*. C'est une estimation du temps moyen nécessaire à la réparation d'une pièce ou d'un appareil. Cela a un réel impact sur la disponibilité d'un système. Le temps pris pour réparer un périphérique ou un équipement n'a de sens que si on tient compte de la valeur du MTBF. On peut écrire :

$$\text{Disponibilité} = [\ \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})\ ] \times 100$$

Il est nécessaire de réaliser des maintenances préventives. C'est un facteur important en matière de fiabilité. Pour cela, les journaux d'erreurs des PADs et commutateurs sont de bons espions et peuvent fournir de bonnes pistes sur d'éventuels futurs problèmes.

La sécurité d'un réseau

La sécurité est rapidement devenue un des problèmes majeurs pour les opérateurs et concepteurs de réseaux. Les aspects liés à la sécurité en matière de réseaux à commutation par paquets s'appliquent dans deux domaines : (a) les précautions à prendre pour empêcher l'accès non autorisé aux données, et (b) celles à mettre en œuvre pour donner l'accès aux fonctions d'administration et de gestion du réseau aux seules personnes autorisées. Le second point est particulièrement sensible car un intrus pourrait très bien mettre hors service un réseau entier s'il avait accès aux informations pertinentes.

La plupart des réseaux fournissent trois fonctions de sécurité de base :

1. La gestion sécurisée du réseau.
2. L'administration sécurisée du réseau.
3. L'accès sécurisé au réseau.

La gestion sécurisée d'un réseau

Elle permet aux terminaux opérateurs utilisés pour les fonctions de contrôle et de gestion du réseau d'être reliés directement aux outils de pilotage et de surveillance de ce réseau. Ces terminaux sont souvent déclarés avec un niveau de sécurité ne les autorisant à travailler qu'avec un groupe fermé d'utilisateurs. Cela permet d'éviter que n'importe quel terminal pirate soit capable d'accéder aux fonctions de gestion du réseau. On associera généralement à chaque terminal un identifiant unique ainsi qu'un mot de passe. Cela est complété par des niveaux d'autorisation qui permettent de restreindre l'accès à certaines fonctions bien particulières. Ces paramètres seront modifiés et vérifiés par un *super utilisateur* qui a accès à l'ensemble du réseau et des fonctions de gestion. Toutes les commandes entrées sur un de ces terminaux devront être enregistrées par le système de gestion du réseau. Cette machine devra en outre capable d'afficher à tout instant la liste des utilisateurs connectés sur le système.

L'administration sécurisée d'un réseau

C'est le système informatique qui fournit l'ensemble des fonctions d'administration telles que les statistiques d'utilisation par utilisateur, par terminaux, par type de commandes. Ce rôle est souvent rempli par le site central ou par un mini-ordinateur dédié dont l'accès est sécurisé

grâce aux mécanismes propres au système d'exploitation et aux procédures de sécurité mises en place autour de cet équipement.

L'accès sécurisé à un réseau

Les grands réseaux internationaux supportent souvent plusieurs milliers d'utilisateurs. On utilise un certain nombre de mécanismes de sécurité pour contrôler l'accès à de tels réseaux. Parmi eux, on peut citer l'emploi de mots de passe, de groupes fermés d'utilisateurs, de dispositifs matériels de reconnaissance et d'authentification (lecteurs de badge ou carte, reconnaissance des empreintes, de la voix ou encore de la rétine), de profils utilisateurs visant à restreindre l'accès de certaines personnes à des fonctions pré-définies.

Le chiffrement des données

La confidentialité des données est assurée par l'emploi de mécanismes de chiffrement de l'information. Ces algorithmes complexes sont étudiés par une science appelée cryptographie qui déborde largement le cadre de ce livre. A titre d'exemples de niveau vraiment trivial, nous allons chiffrer le message suivant : « Bien mal acquis ne profite jamais ». Une première méthode consiste à inverser l'ensemble du texte. On obtient alors le nouveau message : « siamaj etiforp en siuqca lam neiB ».

Il est clair que cela ne fournit qu'une sécurité de bas niveau. Cette méthode est basée sur les substitutions et transpositions. Une autre substitution classique consiste à décaler les caractères de plusieurs places vers la droite par exemple. On l'appelle substitution monoalphabétique connue aussi sous le nom de *chiffre de César*. Voici un exemple avec décalage de un vers la droite où le texte d'origine « Bien mal acquis ne profite jamais » devient « Cjfo nbm bdrvjt of qspgjuf kbnbjt ».

L'acquisition d'un réseau : les choix possibles

Les alternatives pour élaborer son propre réseau

Il y a un grand nombre d'alternatives lorsque l'on décide de construire son propre réseau, même si l'exigence principale est liée à la commutation par paquets. De nombreuses sociétés ont une offre commerciale pour l'utilisation de leur propre réseau. De plus, la plupart des pays industrialisés ont des réseaux publics de transmission de données à commutation par paquets qui permettent l'utilisation de passerelles vers les autres réseaux de la planète. En France, la société Transpac propose avec succès l'accès à son réseau à commutation par paquets du même nom. C'est un exemple classique et reconnu de réseau d'envergure nationale avec de nombreux services complémentaires. A titre d'information, Transpac passe pour être une des meilleures implémentations du protocole X.25.

Dans certains pays comme les Etats-Unis ou ceux du Royaume-Uni, des sociétés privées telles que Geico, Tymnet et Telenet sont capables de proposer des services réseaux. Un des plus grands réseaux privés du monde est l'œuvre de Tymnet pour le compte de Telerate, une société qui appartient au groupe Dow Jones. Telerate a le contrôle complet de son réseau et réalise la maintenance des matériels Tymnet qui le composent. Deux centres de contrôle différents sont basés aux Etats–Unis ; cette redondance permet de rester opérationnel en cas de mise hors service d'un des deux sites.

Paramètres généraux à prendre en compte

Toute conception d'un réseau devra répondre à un certain nombre d'exigences. Ce sont :

1. Tous les critères que nous allons exposer dans le paragraphe suivant.
2. Les besoins spécifiques exprimés par les utilisateurs.
3. Tous les objectifs exprimés ci-dessus en tenant compte des contraintes de planning et du coût.

Paramètres spécifiques à traiter

LA PERFORMANCE PAR RAPPORT AU COUT

Comme très souvent lorsque l'on traite un problème lié à la conception d'un système ou de tout autre produit, on termine par un compromis entre la performance et le coût. A partir des besoins de base, on peut alors se poser les questions suivantes :

Combien faut-il installer de commutateurs pour construire l'arête principale du réseau ?

Cela dépend du nombre d'utilisateurs qui accéderont au réseau de manière simultanée et de leur implantation géographique.

Comment connecter les commutateurs entre eux ?

Cet élément est directement influencé par le prix des lignes ainsi que par la vitesse à laquelle ces lignes peuvent fonctionner. Certains pays comme la France, les Etats-Unis ou la Grande Bretagne sont capables de proposer des lignes de communication fiables et performantes alors que d'autres, moins développés sur le plan des techniques de communication, ne peuvent fournir que des lignes lentes à fort taux d'erreur. Rappelez-vous que le coût d'une ligne est généralement proportionnel à sa vitesse maximum et à sa qualité. Pour certains réseaux, la vitesse de la ligne est essentielle alors que c'est un aspect des choses secondaire pour d'autres. Il faut donc que le concepteur du réseau soit très attentif à l'utilisation qui sera faite du réseau qu'il définit. Si le

transactionnel et l'interactif dominent comme c'est le cas lorsque l'on accède à une base de données ou à un système de messagerie électronique, la vitesse est primordiale. Par contre, si on utilise le réseau pour réaliser des transferts d'information par lots pendant la nuit, le temps mis pour transférer les données a peu d'importance.

Comment les utilisateurs vont-ils accéder au réseau ?

Il y a une grande variété de reposes possibles. Deux exemples classiques sont donnés par la figure 8.1 où un PC isolé utilise un PAD alors que d'autres connectés sur le même réseau local passent par une passerelle pour relier les deux réseaux.

Dans quel sens vont les données ?

Cette question n'est pas si évidente mais elle a pourtant une grande importance. Elle a des conséquences directes sur la topologie du réseau et sur la manière d'interconnecter les liaisons et équipements principaux de ce réseau. Le flux de données peut être aléatoire, bidirectionnel ou dans un seul sens. Dans ce dernier cas, il faut déterminer son sens. Les données qui convergent vers un point central du réseau demandent plus de ressources que lorsqu'il y a diffusion vers des points multiples du réseau.

Les temps d'attente

Pour obtenir un temps de transit minimum sur le réseau, il faut installer le moins possible de commutateurs. Les réseaux en mode paquets induisent toujours certains temps d'attente liés aux équipements de commutation.
Le délai d'attente normal que l'on peut accepter pour une transmission donnée est appelé *temps moyen d'attente*. Des liaisons à haut débit et des équipements sophistiqués permettent de le réduire au minimum. Sur de grands réseaux, les lignes principales devraient toutes être numériques à fort débit. Les opérateurs proposent aujourd'hui des liaisons de ce type avec des vitesses supérieures à 100 Mbps. L'utilisation de telles lignes numériques permet d'envisager des développements futurs. Les réseaux plus modestes utiliseront des lignes moins performantes et donc moins chères.

La fiabilité

Les termes fiabilité et robustesse sont ici très corrélés. La plupart des réseaux à commutation par paquets sont physiquement fiables, mais les équipements peuvent être victimes de problèmes extérieurs comme une panne d'alimentation électrique ou encore comme une inondation. Une évaluation précise de la fiabilité requise pour un réseau permettra de savoir quels organes et quelles lignes on doit doubler à des fins de secours.

Il est possible d'utiliser les services de lignes commutées (lignes du réseau téléphonique), mais cela dégradera de façon inévitable les performances et la qualité de service. Cela doit correspondre à un choix volontaire d'accepter le mode dégradé en cas de secours. Encore un fois, il s'agit de trouver un compromis entre les coûts et les besoins et attentes que l'on place dans le réseau.

L'acquisition d'un réseau : la gestion du processus

Cette partie présente quelques aspects commerciaux liés à l'acquisition d'un réseau ainsi que les questions à poser aux différents fournisseurs. Les exigences et critères d'appréciation lors de l'achat d'équipements de réseau ne sont pas les mêmes que pour un autre service.

Désigner un chef de projet

Pour tout projet d'envergure, il faut d'abord nommer un chef de projet. Il y a de nombreuses raisons pour cela ; la meilleure d'entre toutes c'est que cette personne est l'unique contact commun aux fournisseurs et aux utilisateurs, une sorte de correspondant. Cette personne aura une formation technique non négligeable doublée de la capacité à gestion de projet. Une bonne connaissance générale des sujets techniques offre des atouts importants à un chef de projet par rapport à quelqu'un dont le profil essentiellement gestionnaire pourrait faire perdre de vue certains aspects.

La formalisation des besoins

C'est un document qui dresse l'inventaire des attentes exprimées face au réseau. C'est le cahier des charges du réseau. Il se divise en plusieurs parties.

DEFINITION DU MODE DE FONCTIONNEMENT

Cette partie devrait expliciter la façon de fonctionner au sein de la société. Quelques papiers à en-tête remplis de façon exhaustive donneront une idée de la structure interne de votre organisation aux fournisseurs. Il faudra détailler les systèmes et équipements du réseau déjà installés, de préférence avec quelques graphiques et schémas d'implémentation. Sur cette carte du réseau devra figurer l'ensemble des équipements annexes tels que micro-ordinateurs, périphériques fax et télex. Il est bon de les faire apparaître, même s'ils ne font pas partie intégrante du réseau. Le but est d'avoir une idée précise de l'état des lieux dans l'entreprise. C'est l'état des lieux et la description du décor technique de l'entreprise. Malheureusement, ce genre de documents n'existe pratiquement pas.

IDENTIFICATION DES UTILISATEURS

Encore une fois, ceci peut sembler évident mais c'est pourtant un point souvent négligé. Il faut être prudent et ne pas considérer seulement les utilisateurs possédant un terminal ou un PC. On ne doit pas oublier que si on installe un réseau performant, bien des personnes seront intéressées et demanderont un poste pour s'y raccorder. C'est particulièrement vrai lorsque de nouveaux services à valeur ajoutée sont offerts par ce réseau dont un bon exemple est un système de messagerie électronique. Les fournisseurs de telles applications sont très au fait du soudain engouement et des nombreuses demandes d'installation de terminaux supplémentaires que suscite l'arrivée d'un nouveau système de messagerie. Par exemple, les utilisateurs de télex et de fax réalisent immédiatement qu'il y a une façon encore plus simple pour communiquer.

Le recensement des utilisateurs potentiels devrait être réalisé par regroupements logiques. Une façon de faire est d'utiliser l'implantation géographique, les besoins et les droits d'accès de chacun. Par exemple, il peut y avoir 50 utilisateurs potentiels à Lyon dont 36 utiliseraient le réseau de façon intermittente pour accéder à un système sur Paris avec une faible priorité. Les 14 autres font partie du service traitant les commandes et doivent utiliser les terminaux pour passer des transactions financières ; ils ont besoin d'un temps de réponse rapide.

DEFINITIONS DES BUTS A ATTEINDRE

En fait, qu'est ce qu'on attend d'un réseau ? C'est une question vitale pour tout chef de projet. Il est primordial de définir clairement les attentes car ce sont les réels indicateurs qui permettent de juger du succès ou de l'échec de l'opération. Grâce à une bonne définition du but à atteindre, le chef de projet pourra maîtriser un certain nombre de problèmes caractéristiques des grands chantiers. Par exemple, si la société considère que le coût doit être minimum, il ne faudra pas être surpris que le réseau soit lent et limité. A l'inverse, de nombreuses entreprises sont convaincues que la vitesse est importante, même si ce n'est pas un besoin exprimé clairement et même si cela correspond à un confort superflu. Le nombre croissant de stations bureautiques toujours plus puissantes (on les change bientôt tous les 2 ans) qui ne servent qu'à un traitement de textes en sont une bonne illustration.

LA PERIODE D'INTEGRATION

Comment va-t-on gérer la période transitoire pendant laquelle les utilisateurs passent du système existant au nouveau réseau ? En plus des questions évidentes liées à la logistique, il faut absolument penser à la formation et à la documentation. Le mieux est de tester le nouveau réseau avec un petit groupe au départ et de monter en charge ensuite pendant une certaine période. Cela évite que les fréquents problèmes de

dernière heure ne soient un cauchemar si tout le monde bascule sur le nouvel environnement en même temps.

LE SUIVI DE PROJET ET LA DOCUMENTATION

Le chef de projet doit avoir une visibilité précise à tout moment sur l'avancée du projet et sur les parties tierces associées. Une méthode classique est d'organiser régulièrement des réunions d'avancement et de revue du projet. Elles seront généralement limitées en temps et insisteront sur les différents points d'action. Le concepteur du réseau produira un document détaillant son approche et agrémenté de chiffres et graphiques pour justifier le tout. A chaque réunion, le chef de projet exposera l'avancement des opérations ainsi que la liste des résultats obtenus pendant cette phase. C'est une bonne opportunité pour tester les compétences et l'apport des actions de conseil dispensées par certains fournisseurs de réseaux. Au cas où certains évoqueraient les contraintes de planning pour ne pas produire ces documents de contrôle, un des rôles du chef de projet devra être de faire pression pour que tout le monde respecte ses engagements.

LE PLANNING

Combien de temps cela va-t-il prendre ? Des réponses du style « aussi longtemps qu'il le faudra » ne peuvent pas être acceptées. Le fournisseur du réseau, qu'il soit intervenant externe ou au contraire membre de l'organisation, doit être capable de présenter des prévisions détaillées sur le planning et les principales échéances du projet. Certaines sociétés qui décident d'investir de façon significative dans un nouveau réseau sont dans le droit d'imposer des clauses de pénalités dans le contrat qui le lie avec le vendeur. Un outil de planification est d'une grande utilité et permet de simplifier bien des problèmes de logistique dès qu'il faut présenter des documents sur l'avancée du projet et sur son déroulement futur. On prendra soin de faire figurer toutes les étapes de ce déroulement telles que les dates d'installation des équipements, de la phase de test.

L'acquisition d'un réseau : la planification du site

La planification du site

Ceci n'a pas un impact direct sur la conception d'un réseau mais c'est un aspect des choses pourtant digne d'intérêt. On peut diviser ce sujet en trois domaines principaux :

1. L'organisation de l'espace.
2. Le plan de câblage.
3. L'environnement.

L'ORGANISATION DE L'ESPACE

L'endroit où résideront les principaux équipements de commutation est dépendant de la répartition des utilisateurs. On préférera être proche du plus grand groupe d'utilisateurs (le siège de la société par exemple) tout en respectant les contraintes de disponibilité en matière d'espace. Les petits commutateurs et PADs peuvent être posés sur des bureaux. Il est également possible d'acheter des PADs à une seule porte sous forme de carte à enticher dans un PC. Il fonctionnera alors en passerelle ou en convertisseur de protocole. Lorsqu'on atteint cette étape, il faut bien veiller à permettre des extensions futures car aucun réseau n'est figé et les nouveaux besoins entraînent toujours une inflation de moyens et donc de place. C'est surtout vrai si le réseau est fiable et s'il apporte un gain notoire pour l'entreprise.

LE PLAN DE CABLAGE

Le câblage est un poste caché au niveau investissement. C'est d'autant plus vrai qu'un câble unitaire a un coût relativement modique ; malheureusement, c'est en kilomètres de câbles (et donc en milliers de francs) que se déploient les grands réseaux. De plus, les frais liés à l'installation sont non négligeables et il faut intervenir aux heures non ouvrées, ce qui gonfle l'addition en davantage. Il peut être financièrement intéressant de regrouper des terminaux à l'aide de concentrateurs, ce qui a pour objet de réduire le coût lié au câblage. On peut également réaliser des économies en réutilisant les câbles existants ou en déployant un système de câblage d'immeuble. Cela revient alors à tirer des paires torsadées d'un bout à l'autre du bâtiment jusqu'à un panneau de connexions.

L'ENVIRONNEMENT

Sur les grands sites, il existe très certainement un besoin de salle informatique avec toute l'infrastructure nécessaire (climatisation, pré-câblage). Il faut disposer d'un système anti-incendie (c'est généralement un système à base de Halon) ainsi que d'une alimentation électrique constante et secourue. On raconte bien des anecdotes d'ordinateurs centraux qui jouaient les guirlandes de Noël en passant hors service régulièrement parce qu'ils étaient connectés à la même alimentation électrique que les ascenseurs de l'immeuble. Il faut une totale absence d'interférence électrique (appelée parfois *bruit*). Si on dispose d'une alimentation triphasée, il sera bon de relier les cabinets indépendants sur des phases différentes. Cela assurera que l'ensemble de la salle réseau ne sera pas hors service si une des phases venait à manquer.

Ces points devront être stipulés dans le contrat passé avec le fournisseur de l'installation électrique qui devra vérifier que l'alimentation est constante, non perturbée et adaptée à l'usage prévu.

Des batteries de secours seront installées pour servir d'onduleur. C'est une nécessité sur les grandes exploitations informatiques et l'idéal serait de les doubler par des groupes électrogènes. Dans de nombreuses salles informatiques, la partie principale est alimentée par un onduleur et le reste de l'installation par les batteries de l'onduleur. Il n'y a donc pas d'interruption en cas de mise hors service de l'alimentation principale. L'unité de mesure pour comparer de telles batteries est le nombre de minutes pendant lesquelles elles peuvent secourir une installation sans alimentation principale.

Pour terminer sur ce sujet, signalons que tout ceci a un coût important pouvant même égaler celui des équipements matériels du réseau tout entier. Ceci dit, la sécurité n'a pas de prix et il faut savoir ce que coûte une minute d'arrêt d'une production informatique.

Un exemple de conception de réseau

Le but de cette partie est de présenter aspects liés à la conception d'un réseau. On insistera surtout sur la façon de mettre en place un réseau avec des composants variés sans entrer dans les détails relatifs aux calculs de charge, ce qui dépasse par ailleurs le cadre de ce livre.

Le décor

Une grande société fictive est équipée d'un réseau existant qui doit être amélioré sous la forme d'un réseau à commutation par paquets. La figure 8.12 montre la structure actuelle du réseau. Remarquons que les utilisateurs ne peuvent communiquer que de façon point à point. Les topologies de Londres et de New York sont classiquement de type « étoile ». Sur le plan international, les bureaux principaux sont à New York, Tokyo et Londres. Deux sites centraux à base de grands processeurs sont situés à New York et Londres. Les autres bureaux sont équipés de mini-ordinateurs (machines départementales) et on a fait un usage réfléchi de micro-ordinateurs. Ces derniers sont reliés en réseau local Token Ring.

Ces systèmes informatiques servent à accéder et mettre à jour une base de données dupliquée à New York et Londres. Les systèmes internes de chaque ville réalisent une administration journalière et les lignes de communication primaires sont utilisées pour accéder à la base de données.

L'approche initiale de ce projet peut être réalisée selon les trois critères principaux déjà exposés plus haut dans ce chapitre, à savoir : les ressources réseau, les exigences vis-à-vis du réseau et les buts fixés.

Les ressources réseau

Cette organisation possède quelques équipements informatiques de haut niveau qui feront partie du réseau. Les deux sites centraux seront deux des nœuds majeurs du réseau.

L'inventaire détaillé est le suivant :

ROYAUME-UNI

Londres

- Un site central avec une centaine de terminaux asynchrones.
- Trois réseaux locaux Token Ring d'IBM.
- Six attachements de lignes synchrones pilotant les liaisons point à point existantes.

Manchester

- Un mini-ordinateur avec 20 terminaux asynchrones connectés.

Glasgow

- Un mini-ordinateur avec 20 terminaux asynchrones connectés.

EUROPE CONTINENTALE

Francfort, Paris et Rome

- Chaque centre possède un mini-ordinateur avec un parc de 10 terminaux asynchrones connectés avec un réseau local Token Ring.

JAPON

Tokyo

- Deux mini-ordinateurs avec chacun 30 terminaux asynchrones.

ETATS-UNIS

New York

- Un site central avec 200 terminaux asynchrones connectés.
- Trois réseaux locaux Token Ring d'IBM.

Los Angeles

- Un mini-ordinateur avec 10 terminaux asynchrones connectés.
- Deux réseaux locaux Token Ring d'IBM.

Detroit

- Un mini-ordinateur avec 10 terminaux asynchrones connectés.
- Deux réseaux locaux Token Ring d'IBM.

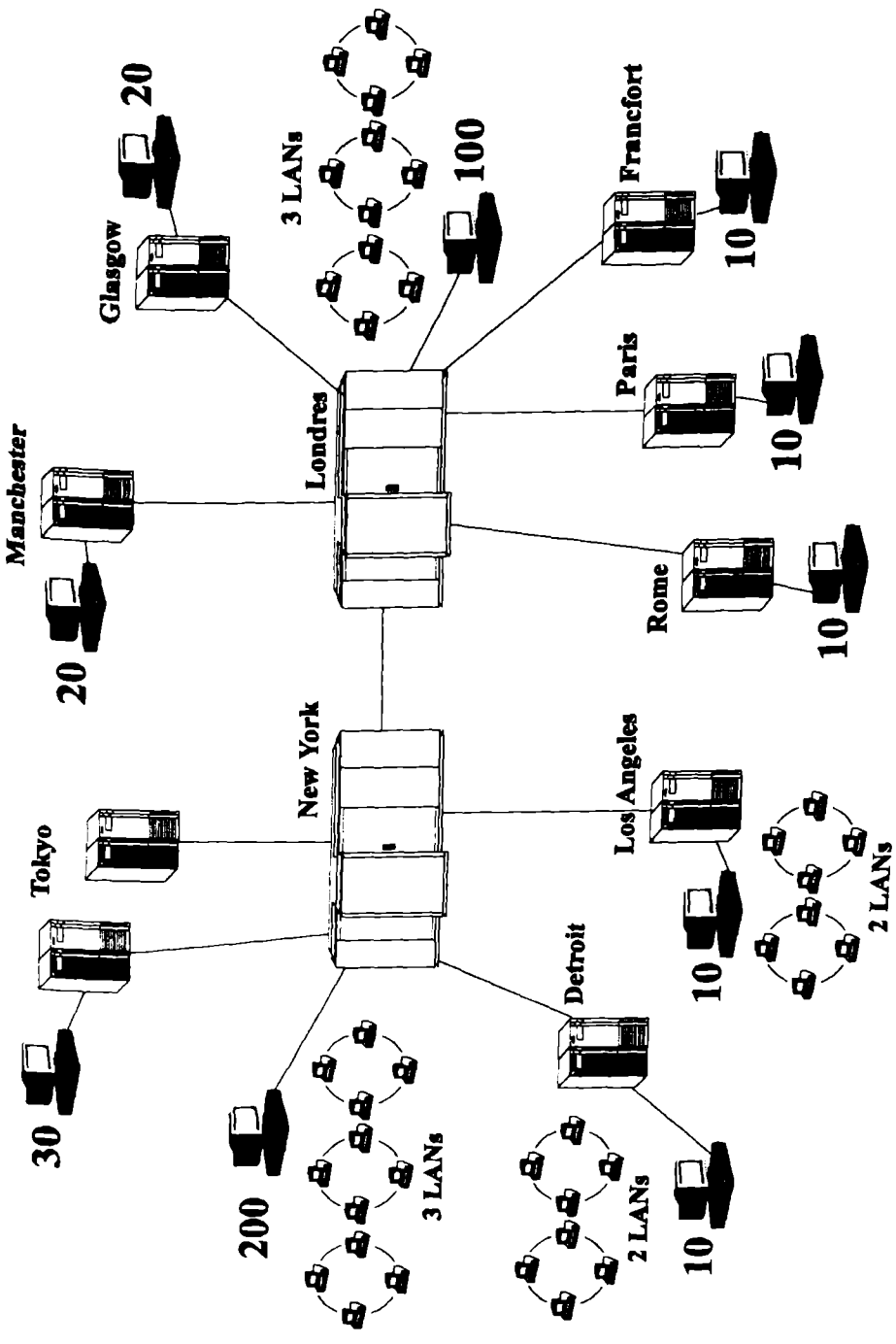


Figure 8.12 *- Un exemple complet de conception de réseau. Ceci est le schéma du réseau existant dans l'entreprise.*

Les exigences liées au réseau

Dans des conditions normales, on ferait une analyse détaillée des demandes liées au réseau tout entier. Comme nous l'avons dit plus haut, la portée de ce livre exclut le passage en revue des détails propres à ce processus. Le but principal ici est d'introduire les concepts et la démarche propres à l'architecture d'un réseau.

La base de données est distribuée sur les deux sites centraux à New York et Londres. Cette base de données est jusqu'à présent mise à jour une fois par jour ; la société désire maintenant que cette base soit mise à jour de façon simultanée dès qu'une modification est faite. Cela signifie qu'il y aura un flux de données lent et régulier entre les deux points de gestion de base de données.

Cela va en outre générer des flux d'informations en provenance des mini-ordinateurs de chaque centre qui seront en partie composés des demandes issues des stations connectées sur les réseaux locaux.

Les buts à atteindre

1. La base de données doit toujours être rapidement mise à jour.

2. L'amélioration de la qualité des lignes. L'entreprise a fait les frais d'une expérience de location de lignes analogiques (celles qui forment le réseau point à point actuel) qui lui coûtent cher, qui sont peu fiables et qui fonctionnent aujourd'hui à leur utilisation maximale.

3. Le nouveau réseau doit être résistant et offrir des liaisons de secours. La société a essuyé des pertes financières lorsque la ligne transatlantique est passée hors service pendant deux jours il y a quelques mois.

4. Tous les systèmes de l'entreprise réclament un accès rapide et intègre à la base de données.

5. Un système de gestion de réseau performant est nécessaire.

6. La direction est sensible à la sécurité du réseau car elle ne désire pas que l'image de marque de la société soit ternie par quelques pirates informatiques. Par contre, les données ne sont pas d'un niveau de confidentialité tel qu'il faille mettre en œuvre des algorithmes de chiffrement.

7. Toute solution réseau retenue devra fournir des possibilités d'ouverture et d'extensions sans qu'il soit nécessaire d'augmenter les configurations des ordinateurs en place. Par le passé, on a dépensé de l'argent pour acheter des processeurs centraux qui finirent par devenir des processeurs de communication coûteux.

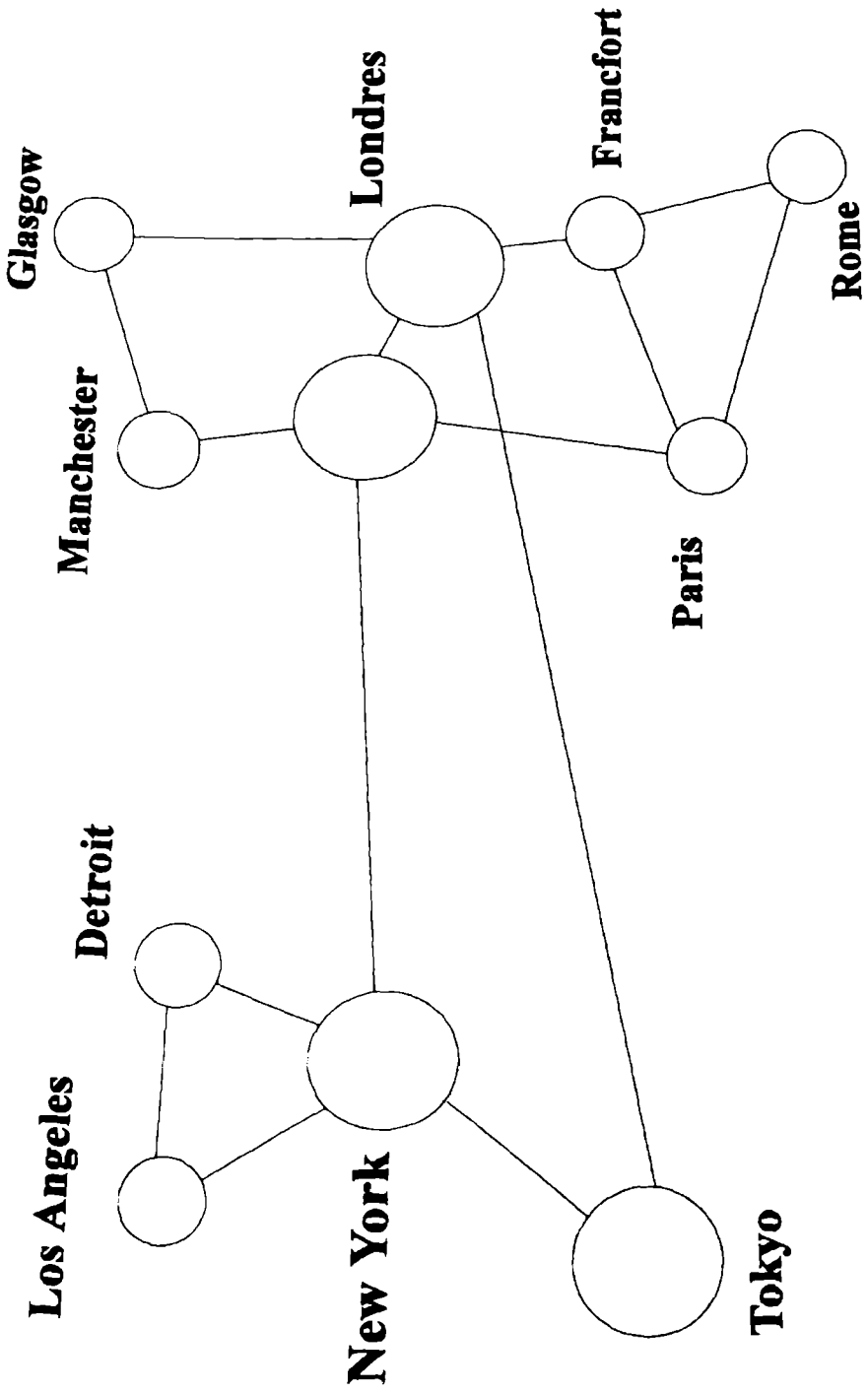


***Figure 8.13** - La structure de réseau à commutation par paquets proposée. Chaque cercle représente un commutateur de paquets.*

La solution retenue

La figure 8.13 montre la structure proposée pour ce nouveau réseau. La première chose qui apparaît est l'utilisation du classique triangle entre les nœuds pour fournir des chemins alternés en cas de mise hors service d'une des lignes principales. Par exemple, si la ligne transatlantique est défaillante, un chemin existe toujours entre Londres et New York par l'intermédiaire du commutateur de Tokyo. Cela couvre un des buts annoncés précédemment au sujet de la tolérance aux pannes du réseau (c'était le point 3).

Des lignes numériques à 64 Kbps seront utilisées à travers toute l'Europe. Le reste du monde sera équipé de lignes numériques à 56 Kbps. Ces lignes à haute vitesse sont chères mais elles garantissent l'intégrité des transmissions et la facilité d'extension. Ce serait une plaisanterie d'installer des lignes analogiques sur les chemins principaux. Elles sont par nature moins fiables et ne peuvent pas fournir suffisamment de bande passante pour étendre la capacité du réseau.

Chaque nœud devrait être chargé au maximum à 50 %. Cela pour permettre la bascule du trafic total sur un chemin de secours disponible unique. La figure 8.14 illustre ceci plus en détail. Les fonctions propres au centre de contrôle du réseau augmenteront la charge des commutateurs LDN-1 et LDN-2 de 25 %.

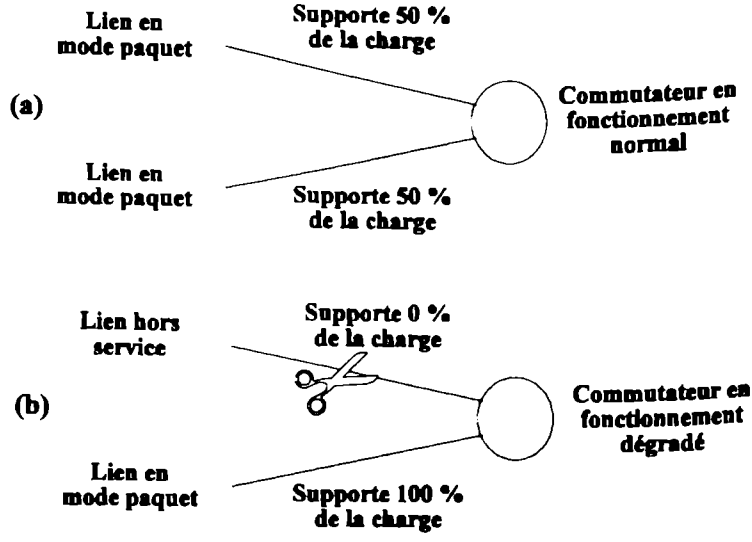


Figure 8.14 *- En (a), la charge est équilibrée entre les deux commutateurs ; chacun supporte 50 % du trafic. En (b), après défaillance d'une des lignes, tout a basculé sur le commutateur du bas qui prend alors en charge la totalité du flux.*

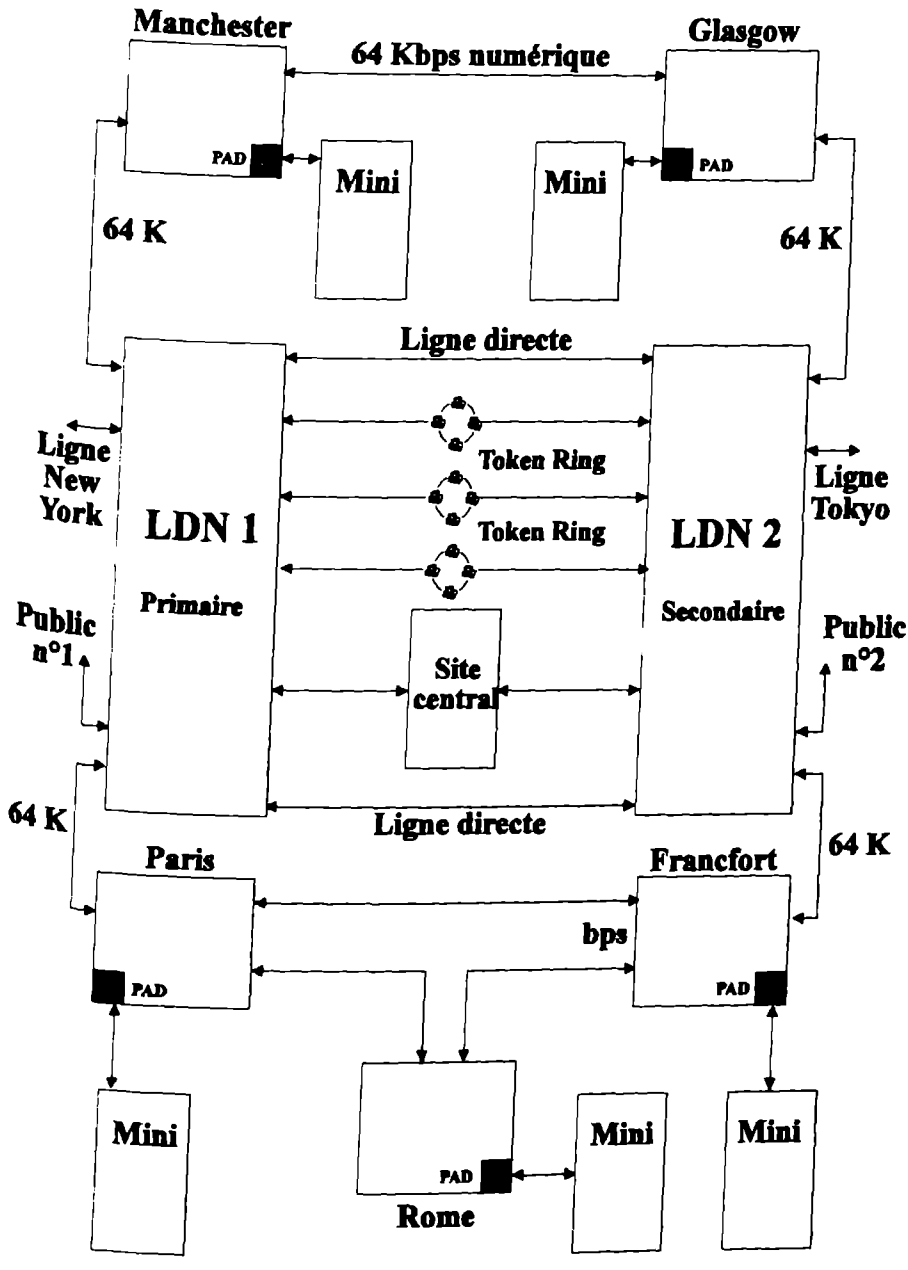


Figure 8.15 - Le schéma de la partie européenne.

Les liaisons internationales principales seront des CVP alors que tout le trafic national passera sur des CVC. L'utilisation de circuits permanents sur les brins internationaux économise de l'argent tout en augmentant la performance du réseau.

A certaine période, les stations des réseaux locaux accéderont à la base de données. Les réseaux Token Ring fonctionnent à une vitesse de 4 Mbps minimum. Si on compare ce débit à celui des lignes à 64 Kbps, on pourrait craindre la congestion du réseau. Pour éviter ce problème, la mise à jour des bases sera réalisée par les sites centraux ou les minis du réseau. Ainsi, les demandes générées par les réseaux locaux seront sérialisées par les sites intermédiaires.

Chaque réseau local accède au réseau par l'intermédiaire d'un PC passerelle équipé d'une carte de communication X.25. Les machines passerelles de Londres auront deux de ces cartes pour permettre un routage alternatif vers les deux commutateurs de paquets LDN-1 ou LDN-2 .

Les connexions entre les mini-ordinateurs et le réseau sont réalisées par un PAD d'entrée de gamme. Un tel PAD se conduit comme un convertisseur de protocole qui permet au mini-ordinateur d'accéder à un réseau à commutation par paquets sans autre frais en périphérique supplémentaire. La connexion des deux sites centraux aux commutateurs est fournie par la réutilisation des interfaces synchrones maintenant configurées au format X.25. Il n'y a pas de surcoût sur ce plan et le reste des ports non utilisés sur les deux sites serviront même à des fins d'extensions potentielles.

Les fonctions du centre de contrôle du réseau seront mises en œuvre dans l'un ou l'autre des commutateurs de Londres (LDN-1 ou LDN-2). Toutes les actions opérateur (reroutages, gestion de réseau) seront prises de Londres. Cette décision repose sur le fait que Londres se trouve dans un fuseau horaire entre New York et Tokyo. Il est plus facile pour les personnels anglais de communiquer avec ces deux interlocuteurs qu'à un Japonais de Tokyo d'appeler un Américain de New York.

Les figures 8.15 et 8.16 montrent le réseau de façon schématique.

On a tenu compte des exigences en matière de sécurité. Le système fonctionne de telle façon que les mini-ordinateurs opèrent comme des tampons pour les terminaux et stations des réseaux locaux qui désirent accéder à la base de données. Des circuits virtuels commutés sont utilisés entre les minis-ordinateurs et les LANs et terminaux alors que les liaisons entre ces minis et les sites centraux sont réalisées par des circuits virtuels permanents. Cela présente l'avantage que les terminaux et PC n'ont qu'un accès restreint au système local sans être relié directement sur le réseau principal. Ceci est illustré par la figure 8.17 ci-dessous.

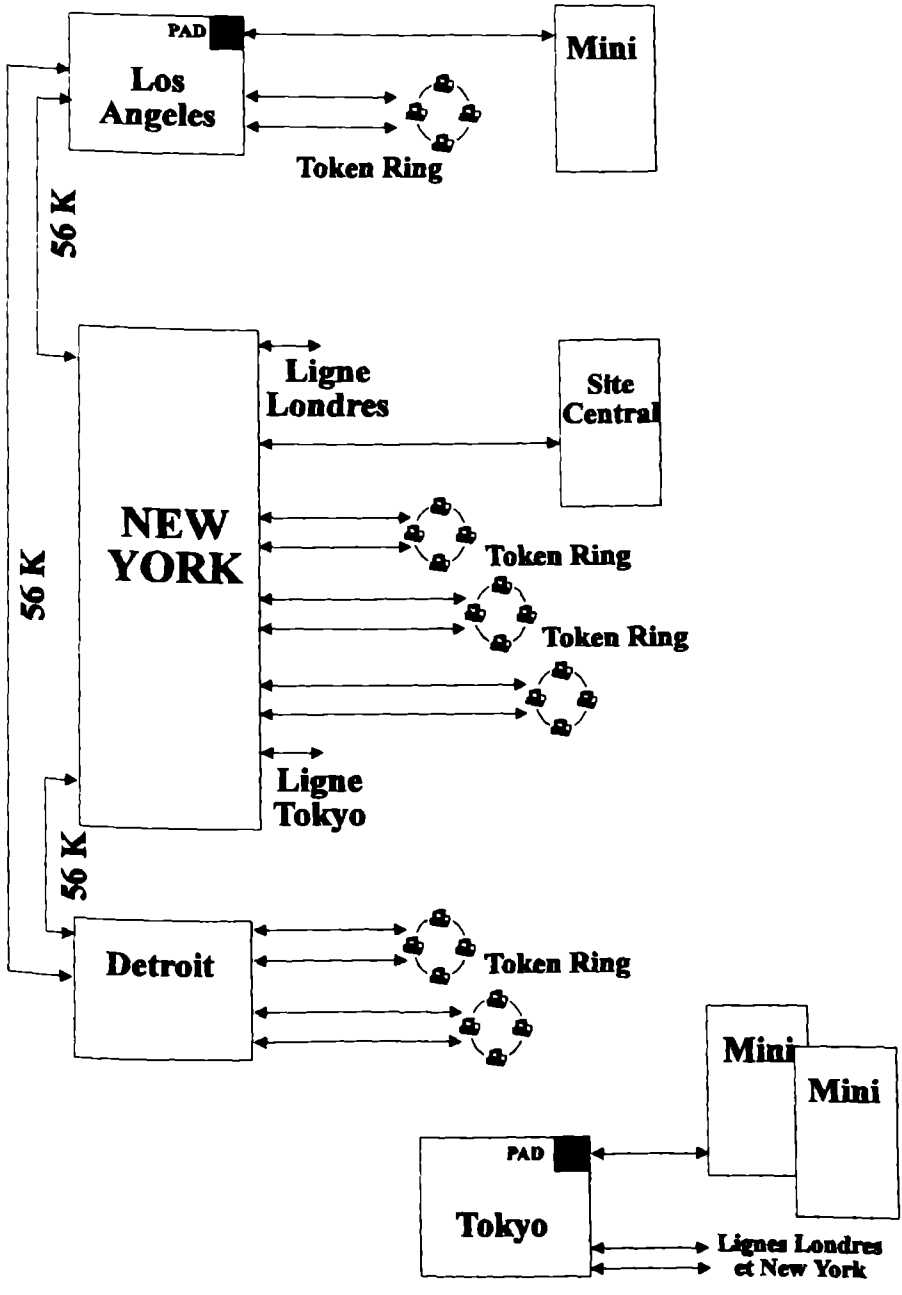


Figure 8.16 - Parties américaines et japonaise du réseau proposé.

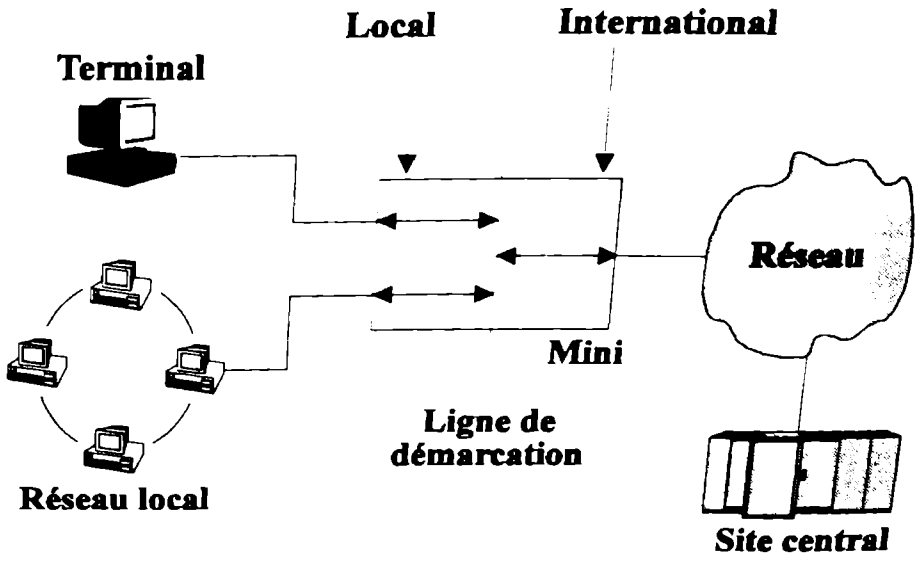


Figure 8.17 - Le mini-ordinateur est utilisé ici comme tampon entre le réseau étendu et les périphériques locaux. Les stations des utilisateurs n'ont donc pas accès au réseau principal.

Auto-évaluation

1. Quel est l'intérêt a-t-on à déployer un réseau et quel est l'avantage du réseau à commutation par paquets ?
2. Quelle est la différence entre un réseau local (LAN) et un réseau étendu (WAN) ?
3. Pourquoi un réseau maillé est-il plus fiable qu'un réseau point à point ?
4. Quelle est la caractéristique unique aux réseaux heuristiques ?
5. Quel est le nom de l'offre commerciale en matière de réseau à commutation par paquets en France, en Grande Bretagne ?
6. Où trouve-t-on et à quoi correspond l'indicateur « nombre de paquets par seconde », et pourquoi est-il si important ?
7. Donner deux façons simples de mettre en œuvre la sécurité au niveau d'un réseau à commutation par paquets.
8. Expliquer les abréviations :
   (a) MTBF
   (b) MTTR.

9. Définir le terme fiabilité en matière de conception de réseaux.

10. Que signifie l'expression « débit de ligne cumulé »?

11. Quelles sont les trois étapes de la planification du site?

ADRESSES DES ORGANISMES DE NORMALISATION

Voici quelques adresses qui vous permetteront d'obtenir des documents officiels ainsi que quelques informations en rapport avec notre sujet.

A - Les recommandations X.25 du CCITT

Secrétariat Général de l'Union
des Postes et Télécommnunications
Place des Nations
1211 Genève 20
Suisse

B - Les normes ANSI

American National Standards Institute
1430 Broadway
New York
NY 10018
USA

C - Les normes EIA

EIA Engineering Department
Standards Sales
2001 Eye street, NW
Washington DC 20006
USA

D - Les normes ISO

AFNOR (Association Française de normalisation)
Tour Europe
Cedex 7
92049 Paris La Défense
(1) 42 91 55 55

E - Les S.T.U.R. (Spécifications techniques d'utilisation du réseau)

TRANSPAC
Direction commerciale
Tour Maine Montparnasse
33 avenue du Maine
75755 Paris Cedex 15
(1) 46 48 15 15

F - Liaisons spécialisées (offre et tarif)

France Télécom
Direction commerciale
6 place d'Alleray
75005 Paris Cedex 15
(1) 44 44 22 22

G - PSS (British Telecom Packet SwitchStream)

Packet SwitchStream
Sales Office
Seal House
1 Swan Lane
Londres
ED4R 3TH
Grande Bretagne
(44) 71 357 4061

ANNEXE B

LE CODAGE DES CHAMPS DE DIAGNOSTIC DANS X.25

Tableau B.1 *- Le codage des champs de diagnostic générés par un réseau X.25 dans les paquets de libération, de reprise, de réinitialisation, de confirmation d'abonnement et de diagnostic.*

Libellé du diagnostic	Bits 8 7 6 5 4 3 2 1	Valeur décimale
Pas d'information complémentaire	0 0 0 0 0 0 0 0	0
P(S) invalide	0 0 0 0 0 0 0 1	1
P(R) invalide	0 0 0 0 0 0 1 0	2
	0 0 0 0 1 1 1 1	15
Type de paquet invalide (reçu à tort)	0 0 0 1 0 0 0 0	16
pour l'état r1	0 0 0 1 0 0 0 1	17
pour l'état r2	0 0 0 1 0 0 1 0	18
pour l'état r3	0 0 0 1 0 0 1 1	19
pour l'état p1	0 0 0 1 0 1 0 0	20
pour l'état p2	0 0 0 1 0 1 0 1	21
pour l'état p3	0 0 0 1 0 1 1 0	22
pour l'état p4	0 0 0 1 0 1 1 1	23
pour l'état p5	0 0 0 1 1 0 0 0	24
pour l'état p6	0 0 0 1 1 0 0 1	25
pour l'état p7	0 0 0 1 1 0 1 0	26
pour l'état d1	0 0 0 1 1 0 1 1	27
pour l'état d2	0 0 0 1 1 1 0 0	28
pour l'état d3	0 0 0 1 1 1 0 1	29
	0 0 0 1 1 1 1 1	31
Paquet interdit	0 0 1 0 0 0 0 0	32
Paquet non identifiable	0 0 1 0 0 0 0 1	33
Appel sur voie logique spécialisée arrivée	0 0 1 0 0 0 1 0	34
Paquet interdit sur CVP	0 0 1 0 0 0 1 1	35
Paquet sur voie logique non attribuée	0 0 1 0 0 1 0 0	36
Paquet REJ interdit	0 0 1 0 0 1 0 1	37
Paquet trop court	0 0 1 0 0 1 1 0	38
Paquet trop long	0 0 1 0 0 1 1 1	39

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

Libellé du diagnostic	Bits 8 7 6 5 4 3 2 1	Valeur décimale
GFI invalide (bits 5 à 8 de l'octet 1)	0 0 1 0 1 0 0 0	40
Numéro de voie logique non nul dans un paquet de reprise	0 0 1 0 1 0 0 1	41
Type de paquet interdit avec le service complémentaire utilisé	0 0 1 0 1 0 1 0	42
Confirmation d'interruption reçue à tort	0 0 1 0 1 0 1 1	43
Interruption reçue à tort	0 0 1 0 1 1 0 0	44
Paquet REJ reçu à tort	0 0 1 0 1 1 0 1	45
	0 0 1 0 1 1 1 1	47
Temporisateur expiré	0 0 1 1 0 0 0 0	48
Pour confirmation d'appel	0 0 1 1 0 0 0 1	49
Pour confirmation de libération	0 0 1 1 0 0 1 0	50
Pour confirmation de réinitialisation	0 0 1 1 0 0 1 1	51
Pour confirmation de reprise	0 0 1 1 0 1 0 0	52
	0 0 1 1 1 1 1 1	63
Problèmes dans l'appel ou la libération	0 1 0 0 0 0 0 0	64
Code de service complémentaire interdit	0 1 0 0 0 0 0 1	65
Paramètre de service complément. interdit	0 1 0 0 0 0 1 0	66
Adresse appelée invalide	0 1 0 0 0 0 1 1	67
Adresse appelante invalide	0 1 0 0 0 1 0 0	68
Longueur de service complément. invalide	0 1 0 0 0 1 0 1	69
Interdiction des appels entrants	0 1 0 0 0 1 1 0	70
Plus de voie logique disponible	0 1 0 0 0 1 1 1	71
Collision d'appels	0 1 0 0 1 0 0 0	72
Code de service complémentaire répété	0 1 0 0 1 0 0 1	73
Champ «longueur d'adresse» non nul	0 1 0 0 1 0 1 0	74
Champ «longueur de service complément.» non nul	0 1 0 0 1 0 1 1	75
Service complémentaire obligatoire absent	0 1 0 0 1 1 0 0	76
Service complémentaire d'ETTD invalide	0 1 0 0 1 1 0 1	77
	0 1 0 0 1 1 1 1	79
Divers	0 1 0 1 0 0 0 0	80
Cause incorrecte	0 1 0 1 0 0 0 1	81
Longueur non multiple de 8 bits	0 1 0 1 0 0 1 0	82
Positionnement du bit Q incohérent	0 1 0 1 0 0 1 1	83
	0 1 0 1 1 1 1 1	95

Libellé du diagnostic	Bits 8 7 6 5 4 3 2 1	Valeur décimale
Non attribué	0 1 1 0 0 0 0 0	96
	0 1 1 0 1 1 1 1	111
Problème international	0 1 1 1 0 0 0 0	112
Problème sur réseau étranger	0 1 1 1 0 0 0 1	113
Erreur de protocole entre réseaux	0 1 1 1 0 0 1 0	114
Liaison internationale en dérangement	0 1 1 1 0 0 1 1	115
Plus de VL sur liaison internationale	0 1 1 1 0 1 0 0	116
Facilité incompatible avec le(s) réseau(x) de transit	0 1 1 1 0 1 0 1	117
Facilité incompatible avec le réseau étranger distant	0 1 1 1 0 1 1 0	118
Problème de routage international	0 1 1 1 0 1 1 1	119
Problème de routage temporaire	0 1 1 1 1 0 0 0	120
Numéro de réseau inconnu	0 1 1 1 1 0 0 1	121
Action de maintenance	0 1 1 1 1 0 1 0	122
	0 1 1 1 1 1 1 1	127
Réservé pour des utilisations spécifiques	1 0 0 0 0 0 0 0	128
	1 1 1 1 1 1 1 1	255

ANNEXE C

ATTRIBUTION DES VOIES LOGIQUES

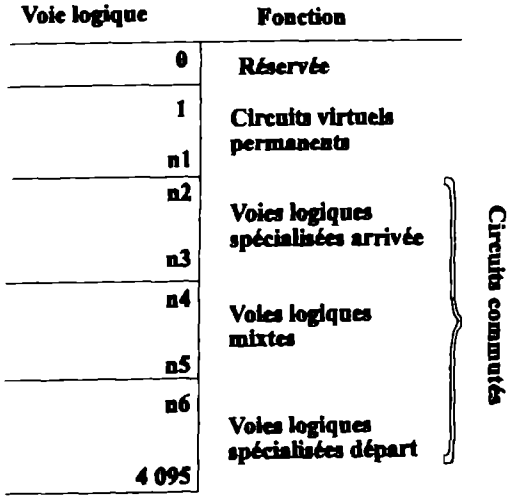
Les voies logiques se répartissent en quatre groupes (voir figure C.1).

1. Les circuits virtuels permanents. Il n'est pas nécessaire d'établir la communication car la voie logique est toujours à l'état « transfert de données ».

2. Les voies logiques spécialisées arrivée. Les appels ne peuvent être initialisés que par l'ETCD par un paquet d'appel entrant. Si toutes les voies logiques sont spécialisées arrivée, on se trouve dans une situation identique à celle résultant de la mise en œuvre du service complémentaire « interdiction d'émettre des appels sortants ».

3. Les voies logiques mixtes. Il n'y a pas de contrainte sur le sens des paquets d'appel. On peut émettre et recevoir des paquets d'appel sans restriction.

4. Les voies logiques spécialisées départ. Dans ce cas, seul l'ETTD peut émettre un appel sortant avec un paquet de demande d'appel. Si toutes les voies logiques sont attribuées, la situation est équivalente à la mise en œuvre du service complémentaire « interdiction de recevoir un appel entrant ».



GLOSSAIRE

Ack : Acquittement - un caractère transmis par le récepteur pour indiquer que le message est reçu correctement.

Adresse : Une représentation codée de la destination d'un message.

ANSI : American National Standards Institute.

ARPA : American Research Projects Agency.

ASCII : American Standard Code for Information Interchange.

Asynchrone : Une méthode de communication caractère par caractère ou chacun est entouré d'un bit de début et d'un bit de stop.

Bande passante : Une mesure de l'espace de signalisation sur une ligne de communication.

BAUD : Abus de langage pour exprimer la vitesse d'une liaison. C'est en fait un indicateur lié à la rapidité de modulation d'une ligne. La vitesse de transmission s'exprime en bits par seconde.

BCD : Binaire codé décimal - un codage utilisé pour représenter en décimal des caractères unitaires.

Bit : BInary digiT - Elément binaire d'information (0 ou 1).

BPS : Bits par seconde.

BNA : Burroughs Network Architecture - Structure de réseau en couche propre au constructeur Unisys (pour la gamme provenant de Burroughs).

BSC : Une procédure de ligne synchrone orientée caractère et spécifiée par IBM.

BT : British Telecom.

Byte : voir Octet.

CCITT : Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone.

Chiffrement : Technique de sécurité mise en œuvre pour assurer la confidentialité des données.

Commutateur de paquets : Equipement d'un réseau à commutation par paquets jouant un rôle de routage.

Commutation par paquets : Technique de transfert de données sur un réseau.

CRC : Code de redondance cyclique - une méthode pour détecter des erreurs dans une bloc de données.

CVC : Circuit Virtuel Commuté.

CVP : Circuit Virtuel Permanent.

Datagramme : Transfert de données en paquets en mode non ordonné.

DCE : Data Circuit Terminating Equipment.

DTE : Data Terminal Equipment.

ECMA : European Computer Manufacterer's Association - Association européenne des constructeurs de matériel informatique.

© MASSON. La photocopie non autorisée est un délit.

EIA : Electronic Industries Association - Organisation de constructeurs américains.
ETCD : Equipement de Terminaison de Circuit de Données (DCE en anglais).
ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données (DTE en anglais).
FCS : Frame Sequence Check - un nombre (généralement un CRC) qui garantit l'intégrité du message transmis.
GFI : Identificateur général de format.
GFA : Groupe Fermé d'Abonnés.
HDLC : High Level Data link Control - une procédure de ligne synchrone orientée bit (Niveau 2 de X.25).
IA5 : Alphabet International n°5.
IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers.
ISO : Organisation mondiale de normalisation.
KBPS : Kilo bits par seconde.
LAP : Link Access Procedure.
LAPB : Link Access Procedure, Balanced.
MARK : Représente un 1 binaire (généralement de signe négatif) - Voir SPACE.
MBPS : Mégabits par seconde.
Modem : MOdulateur/DEModulateur - équipement qui transforme les données binaires en signaux adaptés aux transmissions sur liaisons téléphonique et inversement.
MTBF : Mean Time Between Failure - Durée moyenne entre deux pannes.
MTTR : Mean Time To Repair - Durée moyenne de réparation.
Multiplexage : Technique qui permet le partage d'une seule ligne de communication par plusieurs équipements.
Multi-Point : Liaison qui permet le raccordement de plusieurs stations sur la même ligne.
NGVL : Numéro de Groupe de Voies Logiques.
Nœud : Un point du réseau par lequel passent des lignes de communication.
NUI : Network User Identifier.
NVL : Numéro de Voie Logique.
Octet : Huit bits consécutifs.
OSI : Modèle et ensemble de procédures permettant l'échange d'informations entre des équipements de nature différente.
PAD : Assembleur/désassembleur de paquets.
Paquet : Données regroupées pour être transmises sur un réseau.
Parité : Ajout d'un bit aux caractères d'un message pour détecter et corriger les erreurs de transmission.
PSS : Réseau public en Grande Bretagne dont l'opérateur est British Telecom.
REJ : Rejet.
RNR : Réception non prête.
RR : Réception prête.
SABM : Set Asynchronous Balanced Mode.

Services complémentaires : Facilités offertes aux utilisateurs par un réseau X.25.

SDLC : Synchronous Data Link Control - procédure de ligne synchrone orientée bit et spécifiée par IBM dans SNA.

SNA : Systems Network Architecture - architecture réseau propre à IBM et devenue un standard de fait.

SPACE : Zéro binaire.

Synchrone : Méthode de transmission par flot contigu de bits (contrairement à l'asynchrone).

Trame : Dans un protocole orienté bit, les données sont formatées sous forme de trames.

TRANSPAC : Réseau public en France dont l'opérateur est France Télécom.

WAN : Wide Area Network - réseau étendu.

INDEX

Adresse (champ d'), 35, 69
Adressage, 68
Anneau (topologie en), 145
ANSI, 171
Appel entrant, 67
Arborescent (réseau), 145
ARPA, 4
ARPANET, 4
ASCII, 6, 78
Asynchrone, 115

Bande passante, 179
Bit D, 61, 77, 78
Bit M, 77, 78
Bit Q, 61, 77, 78
Blocage (état de), 45
BNA, 4
British Telecom, 172
BURROUGHS, 4, 33
BULL, 4
Bus (topologie en), 144

Câbles
- RS-232, 25
- RS-422, 25
- RS-423, 25
Caractère
- d'échappement, 121
- d'envoi de données, 121
- de suppression, 124
Cause de libération
- champ, 75
Chiffrement, 152
Circuits virtuels, 14
Classe de débit, 100
CLR, 128
Codage, 60
- des services complémentaires, 95
Collision d'appel, 25
Commande (champ de), 36
Commutateur, 139-142
Commutation, 1, 134

Connecteurs, 21
- ISO-2110, 25
- ISO-2593, 26, 31
- ISO-4902, 28
- ISO-4903, 21, 22
Contrôle de flux, 101
Couche
- Physique, 5, 17, 19
- Liaison de données, 5
- Réseau, 6
- Transport, 6
- Session, 6
- Application, 6
- Présentation, 6
CCITT, 7, 13, 33, 118, 171
- Adoption de X.25, 7, 13
- Adresse, 171

D (bit), 61, 77, 78, 107
Datagramme, 16
DATAPAC, 4, 16
DATEX-P, 4
DEC, 4
DCE, 12
Diagnostic
- Champ de, 76
- Codage du champ de, 173
- Paquet de, 88
DISC, 41
DNA, 4
DOD, 4
Données
- D'appel, 67
- Paquet de, 77
DSA, 4
DTE, 12

EBCDIC, 6
Echo, 121
- Masque d', 125
EIA, 25
- Adresse, 171
- Normes, 25

EIA-RS-422, 29
EIA-RS-423, 30
ETTD, 12
ETCD, 12
Etoile (topologie en), 143

Fanion, 34
FCS, 35, 48
Fenêtre
- Paquet, 80, 109
- Trame, 47
Final bit, 37
France Télécom, 117
FRMR, 41
FTAM, 6
Full-duplex, 35

GFA, 102
GFI, 60, 67, 77

HDLC, 33
Heuristique (réseau), 147
High Level Data
link Control, 33

IA5, 118
IBM, 4, 33
- Sna, 4
- Token ring, 135
Identifiant du type de paquet, 62
Information
- trame d', 36, 39
Interruption
- Confirmation, 86
- Paquet de, 82, 83
- Procédures, 82
ISO, 2, 4, 5, 14, 19
ISO-2110, 25
ISO-2593, 26, 31
ISO-4902, 28
ISO-4903, 21, 22

LAN (réseau local), 133
LAP, 41
LAPB, 41
- Commandes, 41
- Comparaison avec LAP, 42
- Réponses, 41
Libération, 72
Lignes, 139
Local (réseau), 133
Logique(s)
- Attribution des voies, 58, 177
- Numéro de voie, 61
- Numéro de groupe de voies, 61
- Types de voies, 58
- Voie, 56

Maillé (réseau), 146
MTBF, 150
MTTR, 150
Modem, 19
Modulo 8, 62, 79
Modulo 128, 63, 79, 106
M (bit), 77, 78
Multiplexage, 3, 56
Multiplexeur, 3

Nœuds, 9
NUI, 110
Numérotation des paquets, 78

Octet, 34
OSI (modèle de
référence), 5, 19, 33

P/F (bit), 37
PAD, 115
- Architecture, 117
- Avantages, 118
- Commandes, 119
- Définition, 116
- Paramètres, 120
- Performance, 141-142
- X.29, 129
Paquet(s)
- Commutateur de, 139-142
- Commutation par, 1
- Définition, 1, 4, 33
- Description, 4 , 33, 64
- En-tête, 59, 60
- Niveau, 17, 55
- Numéro de séquence, 79, 106
Paquet
- d'appel, 66
- d'appel entrant, 67
- de demande d'appel, 66
- de diagnostic, 88

- d'interruption, 82, 83
- de libération, 71-74
- de reprise, 85
- de réinitialisation, 83
PAR, 128
Parité
- Définition, 118
- Traitement de la, 125
Permanent
- Circuit virtuel, 15
Physique
- Niveau, 5, 17, 19
Points d'accès, 9
PROF, 128
PSS, 13, 63, 172

Q (bit), 61, 77-78
Qualificateur, 61

REJ, 38, 80
Retransmission de paquets, 108
Réinitialisation
- Définition, 83
- Format du paquet, 84
- Procédure de, 82
- De l'ETCD, 83
- De l'ETTD, 84
Reprise (paquet de)
- Définition, 85
- Format, 86
- De l'ETTD, 87
- Du réseau, 87
RNR, 39-40, 80
RR, 39, 80
RS-232, 20
RS-232-C, 25-27
RS-422, 25
RS-422-A, 28
RS-423, 25
RS-423-A, 28
RS-449, 26, 28, 30

SABM, 41
SARM, 43
SDLC, 33
Sélection rapide, 16, 65, 97
Services complémentaires
- Champ de, 69
- Codage des, 95
- Définition, 91
- Description, 96
- Liste des, 93
SET, 128
SNA, 4
STAT, 128
Statistique (multiplexage temporel), 56
Structure des paquets X.25
- Bit D, 61, 107
- Bit M, 77-78
- Bit P/F, 37
- Bit Q, 61
- Numéro de séquence, 79, 106
Sous-adresse, 68
Supervision
- Trame de, 36, 39
- Paquet de, 80
Synchrone, 20

TAD, 109
Taxation au demandé, 109
Tandem Computers, 117-118
Telenet, 4, 153
Telerate, 153
Topologies de réseaux, 143
Temporisateur, 48
Terminal, 19, 134
Trame
- Champ d'adresse, 35
- Définition, 5, 17, 33
- D'information, 36, 39
- De supervision, 36, 39
- HDLC, 34
- Non séquentielles, 36, 40
- REJ, 48
Transfert d'appel, 111
Transpac, 4, 13, 19 ,117, 172
Transparence, 35, 135
Transport (couche), 6
Tymnet, 4, 89, 153

UA, 41

V.10, 21, 30
V.11, 21, 29

V.24, 25
V.28, 20, 25
V.35, 25, 30
Variables d'état, 37
Virtuel (circuit), 14, 55
- Commuté, 15
- Permanent, 15
Voies logiques, 56
- Attribution des, 58, 117
- Mixtes, 58
- Numéro de, 61
- Permanentes, 58
- Spécialisées départ, 58, 100, 108
- Spécialisées arrivée, 58, 100, 109
Voltage, 26, 30

WAN (réseau étendu), 133

X.3, 115, 119
X.21
- Circuits, 21
- Connecteur, 21
- Description, 20
- Signalisation, 21
X.21bis, 20, 25
X.25
- Définition, 9, 12
- Description, 1
- Historique, 13
- Niveaux, 16, 33, 55
X.26, 21-22, 25, 30
X.27, 21, 25, 29
X.28
- Commandes PAD, 127
- Connexion physique, 126
- Description, 115, 126
- Signaux de service, 129
X.29, 115, 129
X-ON, 122
X-OFF, 122

MASSON Éditeur
120, boulevard Saint-Germain
75280 Paris Cedex 06
Dépôt légal : novembre 1994

SNEL S.A.
Rue Saint-Vincent 12 – 4020 Liège
octobre 1994

X.25 FACILE

N.M. Thorpe, D. Ross

Faire le point sur les aspects techniques, organisationnels, méthodologiques et humains des communications d'entreprise, tels sont les objectifs de la collection *Systèmes distribués* qui regroupe des ouvrages synthétiques, rigoureux et clairs sur des sujets qui le sont parfois fort peu.

Cette collection permet, par une approche pragmatique, d'accéder à la compréhension de concepts et de technologies mis en œuvre pour réaliser les architectures de communication des systèmes d'information. Elle s'adresse à un large public de concepteurs, de développeurs, de consultants, de gestionnaires et d'étudiants en informatique et en télécommunication.

Cet ouvrage d'introduction permet au débutant de s'initier à X.25 sans se perdre dans la lecture exhaustive et peu aisée de la recommandation édictée par le CCITT (Comité consultatif international pour le télégraphe et le téléphone).
Après avoir introduit les concepts de base, il présente les fondements de la commutation par paquets ainsi que les organismes ayant joué un rôle dans l'élaboration des normes et standards utilisés aujourd'hui. Il explique ensuite comment la recommandation X.25 utilise et implémente la commutation par paquets.

Les termes et les fonctionnalités requis pour la bonne compréhension des trois couches de la recommandation sont décrits et chacune de ces couches est examinée en détail : le niveau physique de la recommandation détermine les performances de l'ensemble ; le niveau trame doit garantir des communications sans erreur ; très important, le niveau paquet permet l'échange des données utilisateur en s'appuyant sur les couches inférieures. La description de ces niveaux permet ainsi d'expliquer successivement la technologie et les normes en rapport avec les câbles et les connecteurs, le fonctionnement du protocole, les procédures d'accès et le séquencement des trames, l'adressage, les passerelles entre réseaux et les mécanismes pour établir une communication... tout en donnant un aperçu de la puissance et de la performance d'un réseau X.25 bien conçu.

Quelques aspects complémentaires sont ensuite abordés, notamment l'utilisation et le paramétrage des PADs qui permettent l'accès aux réseaux à commutation par paquets à plusieurs terminaux asynchrones. Le coût, la performance, la maintenance et la sécurité, caractéristiques essentielles d'une bonne gestion de réseau, sont ensuite envisagés dans le cadre de la conception d'un réseau X.25. Un exemple concret d'implémentation de réseau international à commutation par paquets permet enfin d'acquérir une connaissance pratique de X.25 et des normes associées.
Le contenu concret de l'ouvrage servira les directeurs et responsables informatiques, les ingénieurs opérationnels et commerciaux, devant assimiler rapidement les bases et les techniques associées à X.25. Les étudiants en informatique apprécieront les exemples pratiques et les questions de synthèse jalonnant le texte.

Les auteurs, **Nicolas** [illegible] et **Derek Ross,** travaill[illegible] au sein de Telerate, un des [illegible]ts réseaux privés de la planète. **Patrice Trousset** est directeur technique de Telematics.

25/1000
209.00

ISBN : 2-225-84628-6

9 782225 846281

Bordas/Dunod