

enst

COLLECTION TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

# TÉLÉINFORMATIQUE

TRANSPORT ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION

DANS LES RÉSEAUX ET SYSTÈMES TÉLÉINFORMATIQUES

C. MACCHI

J.-F. GUILBERT

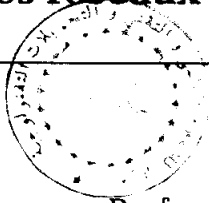
BIBLIOTHEQUE DU CERIST

dunod

21089

# téléinformatique

transport et traitement de l'information  
dans les réseaux et systèmes téléinformatiques



par **César MACCHI**

Ancien élève de l'École Polytechnique

Professeur à l'Université Pierre-et-Marie-Curie

(Institut de Programmation, Laboratoire des Signaux et Systèmes)

et

**Jean-François GUILBERT**

Ancien élève de l'École Polytechnique

Ingénieur des Télécommunications

Direction générale des Télécommunications

(TRANSPAC)

en collaboration avec 17 coauteurs

(liste au verso)

préface de

**Jacques Arsac et Bernard Picinbono**

conclusion de

**François H. Raymond**

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

**DUNOD**

## Préface

Lorsque l'on examine le développement considérable de la science et de la technique des télécommunications, on constate une conjonction permanente des travaux théoriques et des perfectionnements technologiques. En particulier, ce qu'on appelle aujourd'hui la théorie des communications ou de l'information a été fondée aux environs des années 50 à partir d'une réflexion théorique nécessitée par la croissance de la demande en moyens de communications. On peut dans une certaine mesure dire que la théorie a tout d'abord formalisé ce qui était déjà réalisé et qu'elle a ensuite permis sur ces bases de nouveaux progrès.

L'informatique n'a pas procédé autrement. Il y a d'abord eu des ordinateurs, et la programmation a été l'art de leur maîtrise. Mais rapidement, la perception de quelque chose de plus profond s'est manifestée : les français ont parlé d'informatique, les anglo-saxons de « Computer Science ». La formalisation n'est venue qu'après, permettant un nouveau bond en avant. Nous assistons aujourd'hui à la mutation profonde de domaines que l'on croyait pourtant parvenus à leur plein développement : c'est le cas de la structure des ordinateurs, grâce aux microprocesseurs dont l'intégration en systèmes complexes est le fruit des progrès faits dans la formalisation de l'architecture des systèmes. C'est aussi le cas de la programmation grâce aux avancées de l'informatique théorique...

La téléinformatique est dans une situation relativement comparable. L'usage des ordinateurs interconnectés n'est plus exceptionnel, même si l'on n'en tire pas encore tous les bénéfices qu'on en attendait. Mais l'expérience elle-même montre que l'extension considérable de l'utilisation de l'informatique dans les télécommunications, et l'apport à l'informatique des possibilités de ces télécommunications, posent des problèmes nouveaux. De leur solution dépend vraiment cette extension. Il convenait donc de les présenter et de les formaliser. Ceci était d'autant plus nécessaire que la téléinformatique est à la charnière de deux disciplines ayant élaboré leurs vocabulaires et leurs méthodologies mais sans converger nécessairement l'une vers l'autre.

L'ouvrage qui suit est la première tentative importante, en tous cas en langue française, d'établir ce lien profond entre disciplines qui doit les enrichir réciproquement et les faire progresser. Les spécialistes de communication ou d'informatique y retrouveront dans leurs domaines respectifs des idées connues ; ils découvriront également dans cet ouvrage ce qui peut féconder leur réflexion dans l'étude d'un domaine moins familier.

Il est difficile dans un seul ouvrage d'épuiser une matière aussi vaste. Aussi les auteurs se sont-ils attachés à réaliser une synthèse cohérente, donnant les bases fondamentales, ordonnant les concepts et le vocabulaire du domaine étudié, illustrant leur exposé par des exemples concrets et le complétant par de nombreuses références bibliographiques. Ainsi cet ouvrage intéressera un large public : étudiants, chercheurs, concepteurs et utilisateurs de techniques ou de systèmes téléinformatiques.

Ce document est le résultat d'un travail collectif qui a réuni une vingtaine de spécialistes ayant une expérience de l'industrie, de la recherche, ou de l'enseignement dans les différents domaines concernés des télécommunications et de l'informatique. En dehors des parties dont ils ont effectué eux-mêmes la rédaction, Messieurs Macchi et Guilbert ont coordonné et harmonisé les travaux des différents auteurs. Ils se sont attachés en particulier, à assurer un juste équilibre entre les différents chapitres, éviter les redites, combler les lacunes, préciser la terminologie... Enfin, en reprenant la rédaction de chacun des chapitres avec les différents auteurs, ils ont eu la tâche difficile de réaliser la synthèse globale qui a donné le texte définitif. On trouvera donc dans cet ouvrage bien équilibré, à la fois la diversité des points de vue et l'unité nécessaire à une compréhension cohérente de l'ensemble du domaine téléinformatique.

Nous souhaitons que cette tentative exerce son influence sur un large public et contribue ainsi à l'affermissement et au développement d'une discipline jeune et pleine d'avenir.

Jacques ARSAC  
Professeur à l'Université  
Pierre-et-Marie-Curie  
Directeur Scientifique de  
l'Institut de Programmation.

Bernard PICINBONO  
Professeur à l'Université  
de Paris-Sud (Orsay)  
Directeur du Laboratoire des  
Signaux et Systèmes (C.N.R.S.-  
Ecole Supérieure d'Electricité).

# Plan général de l'ouvrage

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

<b>Préface</b> .....	V
<b>Plan général de l'ouvrage</b> .....	VII
<b>Table des matières</b> .....	IX
<b>Introduction</b> .....	XIX
<b>Guide de lecture</b> .....	XXVI
 <b>1<sup>re</sup> PARTIE : TRANSPORT DE L'INFORMATION</b>	
<i>Chapitre 1.</i> Nature des informations à échanger .....	1
<i>Chapitre 2.</i> Le réseau de télécommunications .....	21
<i>Chapitre 3.</i> Transmission de données .....	52
<i>Chapitre 4.</i> Protection contre les erreurs .....	144
<i>Chapitre 5.</i> Transport sur une liaison de données .....	173
<i>Chapitre 6.</i> Transport dans un réseau téléinformatique .....	224
 <b>2<sup>e</sup> PARTIE : TRAITEMENT DE L'INFORMATION</b>	
<i>Chapitre 7.</i> Fonctions de base des systèmes informatiques .....	278
<i>Chapitre 8.</i> Modes de traitements téléinformatiques .....	321
<i>Chapitre 9.</i> Equipements terminaux .....	339
 <b>3<sup>e</sup> PARTIE : ORGANISATION ET CONCEPTION DES SYSTEMES TÉLEINFORMATIQUES</b>	
<i>Chapitre 10.</i> Architecture des systèmes téléinformatiques .....	369
<i>Chapitre 11.</i> Gestion d'un système téléinformatique .....	385
<i>Chapitre 12.</i> Conception d'un système téléinformatique .....	403
<i>Chapitre 13.</i> Outils d'aide à la conception .....	429
<b>Conclusion</b> .....	480
 <b>ANNEXES</b>	
<i>Annexe A.</i> Eléments de théorie du signal .....	484
<i>Annexe B.</i> Eléments de théorie de l'information .....	496
<i>Annexe C.</i> Méthodes de modélisation des systèmes téléinformatiques : théorie des réseaux de files d'attente et outils statistiques de la simulation .....	501
<i>Annexe D.</i> Normalisation de la téléinformatique .....	534
<i>Annexe E.</i> Services publics de téléinformatique .....	545
<i>Annexe F.</i> Le marché téléinformatique .....	589
<b>Glossaire</b> .....	599
<b>Lexique anglais-français</b> .....	617
<b>Index</b> .....	625

# Table des matières détaillée

<b>Préface</b> .....	V
<b>Introduction</b> .....	XIX
<b>Guide de lecture</b> .....	XXVI

## *1<sup>re</sup> partie : TRANSPORT DE L'INFORMATION*

<i>Chapitre 1. — Nature des informations à échanger</i> .....	<b>1</b>
1.1. <i>Introduction</i> .....	<b>1</b>
1.2. <i>Codage des informations</i> .....	<b>2</b>
1.2.1. Codes et alphabets .....	2
1.2.2. Principes de codage .....	3
1.2.3. Le code Baudot et le code DCB .....	5
1.2.4. Le code n° 5 du CCITT (ASCII) .....	7
1.2.5. Le code EBCDIC .....	10
1.2.6. Transmission en ligne .....	10
1.2.7. Caractères, mots, blocs et messages .....	12
1.3. <i>Modes de transmission</i> .....	<b>12</b>
1.3.1. Suites de données synchrone ou asynchrone .....	12
1.3.2. Circuit de données .....	15
1.4. <i>Conclusion</i> .....	<b>20</b>
<i>Bibliographie</i> .....	<b>20</b>
<i>Chapitre 2. — Le réseau de télécommunications</i> .....	<b>21</b>
2.1. <i>Description fonctionnelle du réseau de télécommunications</i> .....	<b>21</b>
2.1.1. Généralités .....	21
2.1.2. Le réseau téléphonique .....	22
2.2. <i>La transmission</i> .....	<b>23</b>
2.2.1. Les réseaux urbains .....	23
2.2.2. Le réseau interurbain (ou à grande distance) .....	24
2.3. <i>Commutation et signalisation</i> .....	<b>32</b>
2.3.1. Les fonctions du commutateur .....	32
2.3.2. Les différents modes de signalisation .....	33
2.3.3. Aperçu sur le trafic et le dimensionnement .....	34
2.3.4. Les différentes familles de commutateurs .....	35

X *Table des matières détaillée*

2.4.	<i>Défauts et limitations du réseau</i> .....	<b>36</b>
2.4.1.	Filtrage dû à la ligne .....	36
2.4.2.	Le bruit .....	40
2.4.3.	Les écarts de fréquence .....	41
2.4.4.	Distorsion non linéaire .....	41
2.4.5.	Sauts et scintillation de phase .....	41
2.4.6.	Echos et microcoupures .....	42
2.5.	<i>Utilisation du réseau pour la transmission de données</i> .....	<b>43</b>
2.5.1.	Réseau commuté et lignes spécialisées .....	43
2.5.2.	Lignes spécialisées : qualité normale, qualité supérieure ; lignes multipoints .....	45
2.5.3.	Lignes à large bande .....	47
2.6.	<i>Le réseau TELEX</i> .....	<b>49</b>
2.6.1.	Description sommaire du réseau .....	49
2.6.2.	Les classes de service .....	49
2.7.	<i>Conclusion</i> .....	<b>50</b>
	<i>Bibliographie</i> .....	<b>51</b>
	<i>Chapitre 3. — Transmission de données</i> .....	<b>52</b>
3.1.	<i>Généralités</i> .....	<b>52</b>
3.1.1.	Ligne de transmission .....	52
3.1.2.	L'ETCD émetteur .....	53
3.1.3.	L'ETCD récepteur .....	58
3.1.4.	Interférences entre symboles .....	58
3.1.5.	Modem .....	63
3.1.6.	Interfaces .....	63
3.2.	<i>Transmission en bande de base</i> .....	<b>64</b>
3.2.1.	Généralités .....	64
3.2.2.	Signaux en bande de base à deux niveaux .....	64
3.2.3.	Signaux en bande de base à trois niveaux .....	68
3.2.4.	ETCD récepteurs en bande de base .....	70
3.2.5.	Conclusion .....	72
3.3.	<i>Transmission par modulation d'amplitude</i> .....	<b>73</b>
3.3.1.	Définition et propriétés spectrales .....	74
3.3.2.	Démodulation non cohérente ou démodulation d'enveloppe .....	79
3.3.3.	Démodulation cohérente .....	80
3.4.	<i>Transmission par modulation de phase</i> .....	<b>90</b>
3.4.1.	Généralités .....	90
3.4.2.	Réception cohérente .....	92
3.4.3.	Réception différentielle cohérente .....	93
3.5.	<i>Transmission par modulation de fréquence</i> .....	<b>94</b>
3.5.1.	Définition. Propriétés spectrales .....	94
3.5.2.	Réception de signaux modulés en fréquence .....	96
3.5.3.	Conclusion .....	101

3.6. <i>Modems normalisés</i> .....	<b>101</b>
3.6.1. Généralités .....	101
3.6.2. Description succincte des modems normalisés .....	102
3.7. <i>Jonction modem-terminal</i> .....	<b>108</b>
3.7.1. Généralités .....	108
3.7.2. L'avis V24 .....	109
3.7.3. Procédure d'établissement du circuit de transmission .....	112
3.7.4. L'appel automatique .....	113
3.8. <i>Les multiplexeurs</i> .....	<b>115</b>
3.8.1. Introduction .....	115
3.8.2. Multiplexage et concentration .....	116
3.8.3. Structure et caractéristiques d'un multiplexeur .....	117
3.8.4. Multiplexage en fréquence. Télégraphie harmonique .....	121
3.8.5. Multiplexage temporel par caractères .....	122
3.8.6. Multiplexeurs temporels par bits .....	127
3.8.7. Multiplexage temporel statistique .....	130
3.8.8. Synchronisation du réseau .....	134
3.8.9. Particularités de la transmission à l'aide de multiplexeurs .....	137
3.8.10. Conclusion .....	138
3.9. <i>Autres équipements utiles à l'exploitation des liaisons</i> .....	<b>139</b>
3.10. <i>Conclusion</i> .....	<b>141</b>
<i>Bibliographie</i> .....	<b>141</b>
<b>Chapitre 4. — Protection contre les erreurs en téléinformatique</b> .....	<b>144</b>
4.1. <i>Introduction</i> .....	<b>144</b>
4.1.1. Généralités .....	144
4.1.2. Classification des codes .....	146
4.1.3. Exemples simples de codes .....	147
4.1.4. Définitions générales .....	148
4.2. <i>Codes linéaires</i> .....	<b>149</b>
4.2.1. Définitions .....	149
4.2.2. Propriétés .....	150
4.3. <i>Codes cycliques</i> .....	<b>152</b>
4.3.1. Définition .....	152
4.3.2. Propriétés .....	152
4.3.3. Mise en œuvre du codage et du décodage .....	154
4.3.4. Caractérisation des codes cycliques .....	157
4.3.5. Codes cycliques raccourcis .....	157
4.3.6. Codes BCH .....	157
4.4. <i>Codes polynomiaux</i> .....	<b>158</b>
4.5. <i>Protection contre les erreurs indépendantes</i> .....	<b>160</b>
4.5.1. Capacité de détection d'erreurs des codes polynomiaux .....	161
4.5.2. Choix des paramètres d'un code .....	161

BIBLIOTHEQUE DU CERIST



XII *Table des matières détaillée*

4.6. <i>Protection contre les paquets d'erreurs</i> .....	163
4.6.1. <i>Détection</i> .....	163
4.6.2. <i>Correction</i> .....	163
4.6.3. <i>Entrelacement</i> .....	164
4.7. <i>Les codes convolutionnels en téléinformatique</i> .....	164
4.8. <i>Correction d'erreurs par retransmission</i> .....	165
4.8.1. <i>Retransmission avec arrêt et attente</i> .....	166
4.8.2. <i>Retransmission continue. Retransmission à répétition sélective</i> .....	168
4.8.3. <i>Comparaison des méthodes de retransmission</i> .....	170
4.9. <i>Conclusion</i> .....	171
<i>Bibliographie</i> .....	171
<b>Chapitre 5. — Transport sur une liaison de données</b> .....	173
5.1. <i>Définition et propriétés d'une liaison de données</i> .....	173
5.1.1. <i>Définition de la liaison de données</i> .....	173
5.1.2. <i>Configuration de la liaison</i> .....	174
5.1.3. <i>Supports de transmission</i> .....	175
5.1.4. <i>Mode d'exploitation de la liaison</i> .....	176
5.1.5. <i>Caractéristiques d'une liaison de données</i> .....	176
5.2. <i>Introduction aux procédures de commande de liaisons de données</i> .....	177
5.2.1. <i>Définition</i> .....	177
5.2.2. <i>Fonctions d'une procédure de commande</i> .....	177
5.2.3. <i>Formation d'une liaison de données</i> .....	184
5.2.4. <i>Fonctionnement et gestion d'une liaison de données</i> .....	187
5.2.5. <i>Les phases d'une procédure</i> .....	192
5.3. <i>Exemples de procédures de commande pour transmission asynchrone</i> ...	194
5.3.1. <i>Caractérisation</i> .....	194
5.3.2. <i>Exemple de procédure télégraphique pour circuits spécialisés</i> .....	194
5.4. <i>Exemples de procédures synchrones</i> .....	197
5.4.1. <i>Introduction</i> .....	197
5.4.2. <i>Procédures synchrones basées sur le caractère</i> .....	199
5.4.3. <i>Procédures synchrones basées sur l'élément binaire : HDLC</i> .....	206
5.5. <i>Principes de mise en œuvre d'une procédure de commande</i> .....	218
5.5.1. <i>Rappel des fonctions à réaliser</i> .....	218
5.5.2. <i>Répartition des fonctions</i> .....	218
5.6. <i>Spécification et choix des procédures de commande</i> .....	220
5.6.1. <i>Paramètres à considérer</i> .....	220
5.6.2. <i>Efficacité et rendement</i> .....	220
5.7. <i>Conclusion</i> .....	221
<i>Bibliographie</i> .....	221

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

**Chapitre 6. — Transport dans un réseau téléinformatique ..... 224**

6.1. *Introduction* ..... 224

6.2. *Système téléinformatique et transport de l'information* ..... 224

6.2.1. Définitions ..... 224

6.2.2. Configurations des systèmes téléinformatiques ..... 225

6.2.3. Valeur ajoutée aux liaisons de données par les équipements informatiques ..... 225

6.3. *Architecture des systèmes téléinformatiques* ..... 228

6.3.1. Notions de composant et d'activité ..... 229

6.3.2. Partage des composants entre activités ..... 229

6.3.3. Problèmes généraux de l'allocation des composants ..... 230

6.3.4. Coopération entre activités, assemblage de composants ..... 233

6.3.5. Séparation des fonctions de transport et de traitement ..... 236

6.4. *La fonction de transport dans un système téléinformatique* ..... 238

6.4.1. Services demandés au composant de transport ..... 238

6.4.2. Architecture du composant de transport ..... 239

6.4.3. Adressage ..... 240

6.4.4. Allocation des composants de transport ..... 243

6.4.5. Contrôle d'erreur ..... 244

6.4.6. Contrôle de flux ..... 245

6.4.7. Fragmentation - réassemblage, groupage - dégroupage ..... 246

6.4.8. Séquencement ..... 246

6.4.9. Acheminement ..... 246

6.4.10. Contrôle de congestion ..... 248

6.4.11. Sécurité, protection ..... 251

6.4.12. Observations, mesures ..... 252

6.5. *Etudes de cas* ..... 252

6.5.1. CYCLADES ..... 252

6.5.2. Le réseau TRANSPAC, réseau public français ..... 256

6.5.3. Autres réseaux ..... 266

*Bibliographie* ..... 275

**2<sup>e</sup> partie : TRAITEMENT DE L'INFORMATION**

**Chapitre 7. — Fonctions de base des systèmes informatiques ..... 278**

7.1. *Introduction* ..... 278

7.2. *Rappels sur la structure d'un système* ..... 279

7.2.1. Traitement ..... 279

7.2.2. Stockage de l'information et accès aux données ..... 281

7.3. *Mécanismes d'exécution* ..... 282

7.3.1. Description fonctionnelle ..... 282

7.3.2. Réalisation des primitives liées à la gestion des processus ..... 287

## XIV Table des matières détaillée

7.4. <i>Gestion de la mémoire</i> .....	<b>292</b>
7.4.1. Description fonctionnelle .....	292
7.4.2. Réalisation de la gestion mémoire .....	295
7.5. <i>Echanges d'information et accès aux données</i> .....	<b>300</b>
7.5.1. Fonctions d'échange .....	301
7.5.2. Réalisation des échanges .....	303
7.6. <i>Les caractéristiques des méthodes d'accès aux réseaux</i> .....	<b>308</b>
7.6.1. Généralités .....	308
7.6.2. Les méthodes d'accès à la transmission .....	308
7.6.3. Les méthodes d'accès au transport .....	311
7.6.4. Présentation des données .....	313
7.7. <i>Exemples de réalisation et d'utilisation</i> .....	<b>313</b>
7.7.1. Exemple de réalisation, Système 64-Cii Honeywell Bull .....	313
7.7.2. Exemple de système réalisé sur mini-ordinateur .....	317
7.8. <i>Conclusion</i> .....	<b>318</b>
<i>Bibliographie</i> .....	<b>319</b>
 <b>Chapitre 8. — Modes de traitements téléinformatiques</b> .....	<b>321</b>
8.1. <i>Introduction</i> .....	<b>321</b>
8.2. <i>Classification des modes de télétraitement</i> .....	<b>322</b>
8.3. <i>La saisie de données</i> .....	<b>323</b>
8.4. <i>Le traitement par lots</i> .....	<b>324</b>
8.5. <i>Le traitement en temps partagé</i> .....	<b>326</b>
8.6. <i>Interrogation de bases de données</i> .....	<b>328</b>
8.7. <i>La gestion de transactions</i> .....	<b>328</b>
8.7.1. Définitions et but .....	328
8.7.2. Exemple .....	329
8.7.3. Services fournis aux programmes transactionnels utilisateurs .....	331
8.7.4. Exécution des transactions .....	331
8.7.5. Gestion des données .....	332
8.7.6. Incidents et reprises .....	332
8.7.7. Exploitation .....	333
8.7.8. Distribution des transactions sur un réseau .....	335
8.8. <i>Conclusion</i> .....	<b>336</b>
<i>Bibliographie</i> .....	<b>338</b>
 <b>Chapitre 9. — Equipements terminaux</b> .....	<b>339</b>
9.1. <i>Introduction</i> .....	<b>339</b>
9.2. <i>Terminaux de temps partagé, saisie et interrogation</i> .....	<b>340</b>
9.2.1. Terminaux à clavier-imprimante .....	340
9.2.2. Terminaux à écran .....	341
9.3. <i>Terminaux pour applications transactionnelles</i> .....	<b>345</b>

9.4. Terminaux de télétraitement par lots .....	348
9.5. Terminaux pour la saisie de données et le contrôle de processus en temps réel .....	350
9.6. Terminaux intelligents .....	351
9.6.1. Généralités .....	351
9.6.2. Fonctions assurées par un terminal intelligent .....	353
9.6.3. Exemple d'architecture .....	356
9.7. Utilisation des terminaux par l'opérateur .....	362
9.8. Utilisation par le programme d'application. Protocole d'appareil virtuel .....	363
9.9. Conclusion .....	365
Bibliographie .....	367

**3<sup>e</sup> partie : ORGANISATION ET CONCEPTION DES SYSTÈMES  
TÉLÉINFORMATIQUES**

<b>Chapitre 10. — Architecture des systèmes téléinformatiques .....</b>	<b>369</b>
10.1. Introduction .....	369
10.2. Etape 1 : connexion directe des terminaux à l'ordinateur central .....	369
10.3. Etape 2 : apparition des concentrateurs .....	371
10.3.1. Introduction .....	371
10.3.2. Caractéristiques d'un concentrateur .....	372
10.3.3. Fonctions assurées par un concentrateur .....	373
10.3.4. Les multiplexeurs .....	374
10.4. Etape 3 : apparition des frontaux .....	375
10.4.1. Introduction .....	375
10.4.2. Caractéristiques d'un frontal .....	376
10.4.3. Fonctions assurées par un frontal .....	376
10.5. Etape 4 : les réseaux généraux d'ordinateurs .....	378
10.6. Exemples .....	379
10.6.1. BTAM (IBM) .....	379
10.6.2. CYCLADES .....	379
10.6.3. DATANET 355 - Honeywell niveau 66 .....	380
10.6.4. DECNET/DNA .....	381
10.6.5. DSE .....	381
10.6.6. SNA .....	382
Bibliographie .....	384

<b>Chapitre 11. — Gestion d'un système téléinformatique .....</b>	<b>385</b>
11.1. Introduction .....	385
11.2. Principes d'exploitation et de maintenance .....	385
11.2.1. Fonctions de l'exploitation .....	385
11.2.2. Exploitation et maintenance .....	387
11.2.3. Moyens d'exploitation .....	387
11.2.4. Méthodes d'exploitation .....	388

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

XVI *Table des matières détaillée*

11.3.	<i>Performances d'un système téléinformatique</i> .....	<b>389</b>
11.3.1.	Définitions .....	389
11.3.2.	Mesure des performances .....	391
11.3.3.	Maintien et amélioration des performances .....	392
11.4.	<i>Disponibilité d'un système téléinformatique</i> .....	<b>393</b>
11.4.1.	Disponibilité et redondance .....	394
11.4.2.	Détection des pannes .....	396
11.4.3.	Reconfigurations .....	397
11.5.	<i>Statistiques. Comptabilité</i> .....	<b>397</b>
11.5.1.	Statistiques .....	397
11.5.2.	Comptabilité .....	399
11.6.	<i>Exemples</i> .....	<b>400</b>
	<i>Bibliographie</i> .....	<b>401</b>
12.	<b>Chapitre 12. — Conception d'un système téléinformatique</b> .....	<b>403</b>
12.1.	<i>Introduction</i> .....	<b>403</b>
12.2.	<i>Etablissement du cahier des charges</i> .....	<b>405</b>
12.2.1.	Introduction .....	405
12.2.2.	Définition des objectifs du système .....	405
12.2.3.	Détermination des critères de choix .....	413
12.3.	<i>La recherche d'une solution</i> .....	<b>415</b>
12.3.1.	Définition de l'architecture du système .....	415
12.3.2.	Choix des composants du système .....	417
12.3.3.	Vérification de la solution .....	423
12.4.	<i>Conclusion</i> .....	<b>427</b>
	<i>Bibliographie</i> .....	<b>427</b>
13.	<b>Chapitre 13. — Outils d'aide à la conception de systèmes téléinformatiques</b> .....	<b>429</b>
13.1.	<i>Introduction</i> .....	<b>429</b>
13.2.	<i>Analyse des performances</i> .....	<b>430</b>
13.2.1.	Partage d'une liaison entre des flux de données homogènes .....	430
13.2.2.	Partage d'un système de traitement entre des terminaux de caractéristiques différentes .....	433
13.2.3.	Procédures de liaison .....	436
13.2.4.	Réseaux arborescents .....	439
13.2.5.	Réseaux maillés .....	442
13.2.6.	Réseaux à diffusion .....	447
13.3.	<i>Evaluation de la disponibilité d'un système téléinformatique</i> .....	<b>450</b>
13.3.1.	Principes de calcul de disponibilité .....	450
13.3.2.	Disponibilité d'un circuit de données .....	457
13.3.3.	Disponibilité des réseaux arborescents .....	459
13.3.4.	Disponibilité des réseaux en boucle .....	460
13.3.5.	Disponibilité des réseaux maillés .....	464

13.4. <i>Optimisation de la topologie des réseaux</i> .....	465
13.4.1. Réseaux arborescents .....	466
13.4.2. Réseaux maillés .....	472
13.5. <i>Conclusion</i> .....	475
<i>Bibliographie</i> .....	476
<b>Conclusion</b> .....	<b>480</b>

**ANNEXES**

<b>Annexe A. — Eléments de théorie du signal</b> .....	<b>484</b>
A.1. Signaux certains .....	484
A.2. Filtres linéaires .....	486
A.3. Fonctions aléatoires .....	490
A.4. Spectre .....	491
A.5. Echantillonnage .....	492
A.6. Représentation d'un bruit par ses composantes en quadrature .....	493
<i>Bibliographie</i> .....	495
<b>Annexe B. — Eléments de théorie de l'information</b> .....	<b>496</b>
B.1. Introduction .....	496
B.2. Canal de transmission discret sans mémoire .....	497
B.3. Canal gaussien à bande limitée .....	499
<i>Bibliographie</i> .....	500
<b>Annexe C. — Méthodes de modélisation des systèmes téléinformatiques : théorie des réseaux de files d'attente et outils statistiques de la simulation</b> .....	<b>501</b>
C.1. Introduction .....	501
C.2. Principaux types de lois .....	504
C.3. File d'attente simple à un seul serveur .....	511
C.4. Modèle de Jackson .....	513
C.5. Solution en forme de produit pour des lois de service générales .....	522
C.6. Interprétation des résultats de simulation : intervalles de confiance .....	526
<i>Bibliographie</i> .....	531
<b>Annexe D. — Normalisation de la téléinformatique</b> .....	<b>534</b>
D.1. Téléinformatique et normalisation .....	534
D.2. Organisation de la normalisation .....	534
D.3. Les travaux de normalisation .....	537
D.4. Les principales normes concernant la téléinformatique .....	538
<b>Annexe E. — Services publics de téléinformatique</b> .....	<b>545</b>
E.1. Panorama d'ensemble .....	545
E.2. Services publics de téléinformatique en France .....	552
E.3. Services téléinformatiques à l'étranger .....	568

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

XVIII *Table des matières détaillée*

E.4. Liste des organismes à contacter .....	581
E.5. Noms et sigles cités .....	583
<i>Bibliographie</i> .....	585
<b>Annexe F. — Le marché téléinformatique</b> .....	<b>589</b>
F.1. Connaissance du marché : objectifs et paramètres .....	589
F.2. Le marché actuel .....	590
F.3. La prévision de la demande .....	593
<i>Bibliographie</i> .....	598
<b>Glossaire</b> .....	<b>599</b>
<b>Lexique anglais-français</b> .....	<b>617</b>
<b>Index</b> .....	<b>625</b>

# Introduction

## Historique

Si l'on peut considérer que la transmission à distance d'informations alphanumériques est aussi ancienne que le télégraphe, ce n'est que vers les années soixante que s'est vraiment développée la connexion de *calculateurs* à des *lignes de télécommunications*, dans le but d'accéder au traitement à partir de périphériques distants, alors appelés *terminaux*. Limités au début à quelques liaisons isolées, des *réseaux de transmission de données* complexes se sont développés autour de centres informatiques, permettant d'effectuer la saisie et la restitution de l'information plus près des sources et des utilisateurs de cette information.

Comme alternative à de telles structures de nature centralisée, apparaît actuellement la tendance de *l'informatique répartie*, dans laquelle le traitement et le stockage de l'information, eux-mêmes placés plus près des utilisateurs, sont éclatés sur plusieurs ordinateurs plus petits ou sur des terminaux dits intelligents — la limite entre ordinateur et terminal devient alors plus floue —, qui peuvent échanger des données entre eux par l'intermédiaire de moyens de télécommunications.

La téléinformatique n'a pas encore envahi le domaine des biens de grande consommation. Cependant, la technologie est prête, qui permet par exemple de réaliser un terminal de télétraitement à partir d'un poste téléphonique et d'un récepteur de télévision. Le développement des microprocesseurs, ainsi que l'apparition de techniques de transmission de données à la fois souples et économiques, comme la commutation par paquets, auront probablement un impact considérable sur notre vie quotidienne avant la fin de ce siècle.

Dans un avenir plus rapproché, la téléinformatique entrera systématiquement dans les bureaux et dans les rouages administratifs de l'activité économique, en particulier avec les machines de traitement de texte connectables à des systèmes de commutation de messages, des bases de données, ou des services de télégestion. Dès aujourd'hui, le développement du télétraitement touche indirectement le grand public, en particulier dans la gestion des services qu'il utilise, tels que ceux de banque, d'assurance, de distribution, de transport ou de tourisme.

Au-delà de la simple constatation d'une évolution exponentielle du nombre de lignes ou de terminaux, des indices nombreux et variés témoignent de l'essor considérable de la téléinformatique : ce domaine d'activité



occupe une place de plus en plus importante dans les catalogues des constructeurs, les programmes de centres de recherches, les cycles d'enseignement ou de formation continue, les colloques et les revues, aussi bien d'informatique que de télécommunications. Il apparaît même des sociétés de production, des services d'études, des séminaires ou des périodiques entièrement spécialisés dans ce domaine. Par ailleurs, il n'est pas rare de voir des organismes consacrer 50 % de leur budget informatique à l'implantation des terminaux et du réseau. D'un autre côté, les dépenses relatives aux services publics de téléinformatique ne constituent plus une fraction marginale du budget des télécommunications.

### **But de l'ouvrage**

La téléinformatique apparaît ainsi comme une discipline jeune, très évolutive, dont l'impact sur la société, déjà grand aujourd'hui, est appelé à croître de façon considérable. Elle est aussi, du fait de sa situation à la charnière de l'informatique et des télécommunications, une discipline vaste et aux multiples facettes, qu'il est difficile d'appréhender dans son ensemble.

Cet ouvrage propose une réponse à cet évident besoin de synthèse en présentant, de façon ordonnée, l'ensemble des connaissances fondamentales nécessaires à une bonne compréhension de la téléinformatique, qu'elles se rattachent plus particulièrement au domaine de l'informatique ou à celui des télécommunications, ou qu'elles soient spécifiques de la téléinformatique.

### **Plan général de l'ouvrage**

Dans tout système informatique il existe des mécanismes d'échange entre les différents éléments qui le constituent ; en téléinformatique, les contraintes technico-économiques liées à la distance, et la nature des moyens de télécommunications disponibles, ont conduit à développer un ensemble de techniques particulières permettant d'assurer le transfert d'information entre équipements informatiques distants, dans de bonnes conditions. Les différents aspects de cette fonction de *transport de l'information* sont traités dans la première partie de l'ouvrage.

La seconde partie est consacrée au *traitement de l'information*. Elle insiste surtout sur les aspects spécifiquement téléinformatiques — tant sur le plan du matériel que du logiciel — des unités de traitement et d'entrée-sortie de données qui participent à une application de télétraitement.

L'intégration des fonctions de transport et de traitement dans un *système téléinformatique* est abordée dans la troisième partie, sous l'angle de l'architecture générale, de la gestion et de la conception d'ensemble.

### **Transport de l'information**

L'un des premiers problèmes rencontrés pour le transfert d'information à distance est lié à la disparité entre les signaux à transmettre et l'infra-

structure de transmission existante. *La nature de l'information à échanger* (ch. 1) est le plus souvent numérique, les équipements informatiques utilisant le système binaire comme logique de base et pour représenter l'information.

Par contre les *moyens de télécommunications* (ch. 2), surtout développés pour la transmission de signaux directement utilisables pour nos sens comme les signaux sonores, sont de nature analogique. On a donc développé des procédés d'adaptation des moyens de télécommunications aux signaux binaires, consistant en une conversion binaire-analogique, le plus souvent par *modulation et démodulation* d'une onde sinusoïdale, après une éventuelle transformation préalable en un autre signal numérique (*codage en bande de base*). Cette fonction de conversion est assurée par un équipement intercalé (cf. fig. 1) entre la *ligne de transmission* et l'*équipement terminal de traitement de données* (ETTD, terme normalisé désignant un équipement informatique, terminal ou ordinateur, connecté à une ligne); de tels équipements de conversion, appelés *équipements de terminaison de circuit de données* (ETCD), et plus couramment désignés sous le nom de *modem*, sont placés à chaque extrémité d'une *ligne de transmission* pour constituer un *circuit de données* capable d'acheminer des signaux binaires. Enfin, les *multiplexeurs* permettent de juxtaposer plusieurs circuits de données sur un même support de transmission.

Les diverses techniques de codage en bande de base, de modulation-démodulation et de multiplexage, ainsi que les frontières ou *interfaces* entre ETTD et ETCD, sont décrites au *chapitre 3*, tandis que les bases théoriques correspondantes (théorie du signal, théorie de l'information) sont brièvement appelées dans les annexes A et B.

Le circuit de données ainsi constitué est encore incomplet pour transmettre correctement l'information; en particulier les défauts et bruits inévitables sur tout support de télécommunication se traduisent par des *erreurs* affectant un pourcentage d'éléments binaires (taux d'erreurs) généralement inacceptable. Afin de diminuer la probabilité d'erreurs, on met en œuvre des mécanismes de *protection contre les erreurs* (ch. 4) consistant à appliquer à l'information, avant de la transmettre sur le circuit, un codage particulier permettant de détecter à la réception — et même dans certains cas de corriger immédiatement — la plupart des erreurs de transmission.

Le procédé le plus fréquent consiste à transmettre une nouvelle fois l'information en cas d'erreur détectée. Afin de déclencher de telles retransmissions, et plus généralement pour assurer le bon déroulement de leurs échanges, les ETTD doivent se conformer à certaines règles portant sur le format de données et l'enchaînement des opérations, et doivent échanger des informations de service pour assurer des fonctions telles que l'initialisation, la synchronisation, les reprises en cas d'incident, éventuellement un « tour de rôle » lorsque le circuit relie plus de deux ETTD (lignes multipoints). L'ensemble de ces règles de communication est désigné sous le nom de *procédure de liaison*. La *liaison de données*, considérée comme

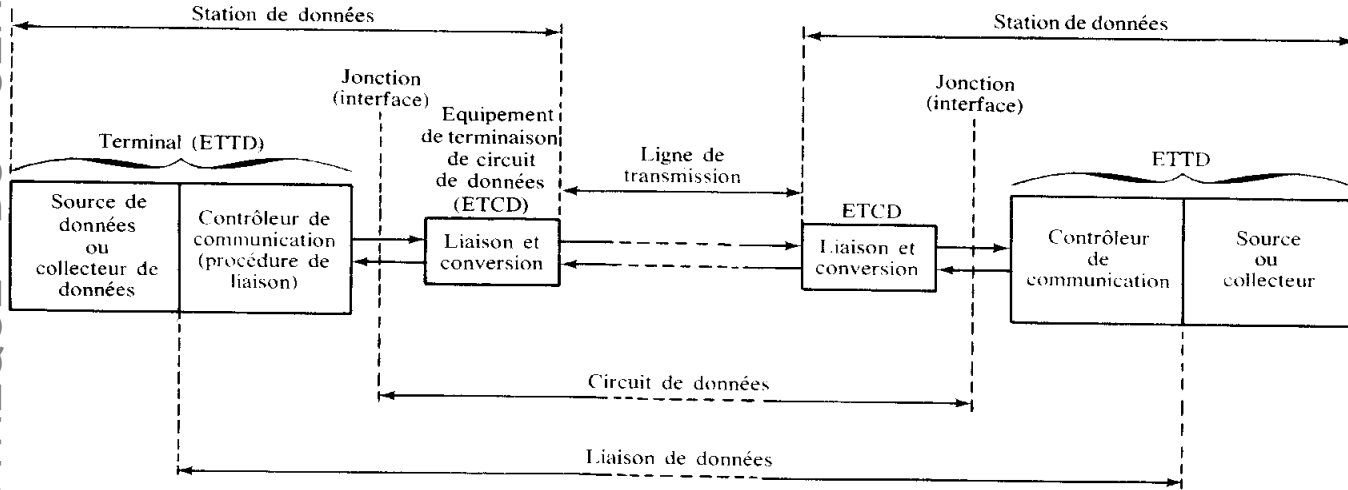


Fig. 1. *Eléments constituant un système de transmission de données entre deux terminaux.*

intégrant (cf. fig. 1) les parties des ETTD qui gèrent cette procédure (contrôleurs de communication), permet donc l'échange de données dans de bonnes conditions entre les utilisateurs d'extrémité, *sources* et *collecteurs de données*. Le *chapitre 5* décrit les fonctions à assurer pour la gestion d'une liaison, et les principaux types de procédures utilisées.

Afin de diminuer les coûts par *concentration* de plusieurs flux d'information sur une même liaison, et aussi pour obtenir des fonctions supplémentaires de *commutation* et d'*adaptation* entre des ETTD aux caractéristiques diverses (codes, vitesses, procédures, etc...), on assemble des liaisons de données en les reliant par des *équipements informatiques* assurant un *traitement* et une *mémorisation* intermédiaires de l'information à transporter. Le *réseau de transport* de données ainsi constitué assure des *fonctions de transport* plus complexes qu'une simple liaison, et régies par un ensemble de *protocoles*. Le *chapitre 6* décrit ces fonctions et protocoles, et les illustre par des exemples de réseaux de *commutation par paquets* et de commutation de messages.

On trouve en *annexe E* un panorama des *services publics de téléinformatique* (généralement limités au transport de l'information) disponibles ou en cours de développement en France et à l'étranger.

### Traitement de l'information

Le *chapitre 7* traite des fonctions de bases des *systèmes de traitement*. Après des rappels généraux sur les fonctions et l'organisation générale des systèmes, il décrit principalement les éléments intervenant dans l'utilisation d'un réseau, en les situant dans l'ensemble des mécanismes d'*entrée-sortie* (accès à la mémoire, aux périphériques, aux ensembles de données), et sous le double aspect du matériel (*adaptateurs de ligne, contrôleurs de communication*) et du logiciel interposé entre les programmes d'application et le réseau (*méthodes d'accès* au réseau).

Le *chapitre 8* décrit ensuite les différents modes d'utilisation d'un système informatique à distance, ou types d'*applications téléinformatiques* (traitement par lots, temps partagé, gestion de transactions, etc...), ainsi que les logiciels correspondants (souvent appelés moniteurs de télétraitement).

Les terminaux sont abordés au *chapitre 9* sous l'angle de leurs caractéristiques fonctionnelles (diverses familles de terminaux) et de leur organisation interne, illustrées sur quelques exemples ; on aborde également les problèmes liés à leur utilisation par l'opérateur, et à leur gestion par le programme d'application.

### Organisation et conception des systèmes téléinformatiques

Un *système téléinformatique* regroupe un ensemble de moyens de transmission et d'équipements informatiques pour réaliser des fonctions de *transport* (assurées par le *réseau* considéré comme un sous-ensemble) et des fonctions de *traitement*. La frontière entre ces deux types de fonctions

n'est pas toujours facile à tracer. Leur répartition entre les différents éléments du système est traitée au *chapitre 10*, qui dégage les principaux axes de l'évolution actuelle concernant l'*architecture* des systèmes téléinformatiques et les illustre par des exemples d'architectures proposées par des constructeurs informatiques.

L'étendue géographique d'un système téléinformatique conduit à donner une importance particulière aux fonctions de *gestion* du système (*ch. 11*) comprenant la *surveillance* de son bon fonctionnement, les actions à entreprendre en cas d'*incident*, ainsi que l'assistance aux utilisateurs, les statistiques et la facturation.

Le *chapitre 12* aborde le vaste problème de la *conception* d'un système téléinformatique, avec l'élaboration du *cahier des charges* (objectifs du système, critères de choix), la mise au point d'une solution (architecture générale, choix des composants), son évaluation (performances, sécurité...) et son optimisation. Cette conception peut être facilitée par l'utilisation de divers *outils* d'évaluation et d'optimisation présentés au *chapitre 13*, les rappels théoriques correspondants (théorie des files d'attente, simulation) figurant dans l'*annexe C*.

### Normalisation

La *compatibilité* des différents niveaux du transport et du traitement dans les divers éléments constituant un système téléinformatique est évidemment une condition fondamentale de son bon fonctionnement. La *normalisation* revêt alors une importance toute particulière pour des systèmes géographiquement étendus et faisant intervenir de nombreux fournisseurs de l'informatique et des télécommunications.

On trouve, tout au long de l'ouvrage, de nombreuses références à des normes existantes ou à l'étude ; l'annexe D présente les organismes nationaux et internationaux où s'élabore cette normalisation, et rassemble les références des principales normes concernant la téléinformatique.

### Terminologie

Autour de la téléinformatique se trouvent rassemblées deux catégories de spécialistes ayant chacune forgé indépendamment, au cours de l'histoire des télécommunications et de celle de l'informatique, leur propre terminologie. Ces langages techniques, surtout celui de l'informatique, sont encore en pleine évolution, et développés principalement en langue anglaise.

Un effort important d'harmonisation et de francisation du langage a été fait dans la rédaction de l'ouvrage. Il a permis notamment la constitution du glossaire et du lexique anglais-français placés en fin d'ouvrage. Nous nous sommes appuyés sur les choix de la terminologie officielle ou normalisée lorsqu'ils existaient, et sur un consensus de l'ensemble des auteurs dans les autres cas.

### **Bibliographie**

Le lecteur trouvera en fin de chaque chapitre ou annexe une liste de références correspondants aux renvois insérés dans le texte. Cette bibliographie couvre le thème du chapitre et comprend généralement :

- des ouvrages généraux, qui peuvent être cités dans plusieurs chapitres,
- des documents officiels ou des brochures techniques, disponibles auprès des organismes cités,
- des articles de revues et des textes de communications, approfondissant des techniques ou des axes de recherche particuliers.

### **Guide de lecture**

Il est vraisemblable que tous les lecteurs ne seront pas intéressés au même titre par tous les chapitres. Le diagramme suivant permettra au lecteur de se repérer rapidement dans l'ensemble de l'ouvrage en fonction de ses connaissances et de ses objectifs.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST