

# **Réseaux et transmissions**

Chez le même éditeur

*Architectures de sécurité pour internet*

2<sup>e</sup> édition

Jean-Guillaume Dumas, Pascal Lafourcade, Patrick Redon

432 pages

Dunod, 2020

*Réseaux et télécoms*

4<sup>e</sup> édition

Claude Servin

800 pages

Dunod, 2013

# Réseaux et transmissions

Protocoles, infrastructures  
et services

**Stéphane Lohier**

Maître de conférences en réseaux  
à l'université Gustave Eiffel

**Dominique Présent**

Maître de conférences en réseaux  
à l'université Gustave Eiffel

**7<sup>e</sup> édition**

**DUNOD**

Toutes les marques citées dans cet ouvrage  
sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

Illustration de couverture :  
© Blackboard – Shutterstock

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, 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 toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 1994, 1999, 2003, 2007, 2010, 2016, 2020

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-081183-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos</b>	XI
<b>Chapitre 1 ■ Concepts de base</b>	1
1.1 Systèmes de communication	1
1.2 Éléments d'une liaison	3
1.3 Modes d'exploitation	4
1.3.1 Liaison simplex	4
1.3.2 Liaison semi-duplex ( <i>half duplex</i> )	5
1.3.3 Liaison duplex intégral ( <i>full duplex</i> )	5
1.4 Codage et transmission série	6
1.5 Transmissions asynchrone et synchrone	6
1.5.1 Transmission asynchrone	7
1.5.2 Transmission synchrone	8
1.6 Réseaux informatiques	10
1.7 Notion de protocole	11
Exercices corrigés	12
QCM	12
Exercices	14
Solutions	15
<b>Chapitre 2 ■ Les liaisons série</b>	17
2.1 Liaisons normalisées	17
2.2 La liaison RS232/V24	18
2.3 Les liaisons RS422 et RS485	19
2.4 La liaison USB	20
2.4.1 Introduction	20
2.4.2 Connexion d'un périphérique	21
2.4.3 Protocole de transmission	22
2.4.4 Norme USB 2	24
2.4.5 Norme USB 3	26
2.5 Les bus série I2C et SPI	26
2.5.1 Les bus électroniques	26
2.5.2 Le bus I2C	26
2.5.3 Le bus SPI	29
Exercices corrigés	32
QCM	32
Exercices	33
Solutions	34

## Réseaux et transmissions

<b>Chapitre 3 ■ Transmission du signal numérique</b>	37
3.1 Transmission en bande de base	37
3.1.1 Principe	37
3.1.2 Principaux codages	38
3.2 Modulation/démodulation	40
3.2.1 Modulation par saut de fréquence (FSK, <i>Frequency Shift Keying</i> )	41
3.2.2 Modulation par saut de phase (PSK, <i>Phase Shift Keying</i> )	41
3.2.3 Modulation par saut de phase et d'amplitude (PSK + AM)	42
3.2.4 Débit binaire, vitesse de modulation et valence	43
3.3 Caractéristiques d'une voie de transmission	44
3.3.1 Capacité	44
3.3.2 Temps de propagation et temps de transmission	44
3.3.3 Partage d'une ligne (multiplexages)	45
3.3.4 Multiplexage par porteuses orthogonales (OFDM)	50
3.4 Transmission ADSL	52
3.4.1 Principe	52
3.4.2 La modulation	54
3.4.3 ADSL2+ et les évolutions	55
3.5 Transmission sur fibre optique	56
3.6 Transmission sans fil WiMAX	58
Exercices corrigés	61
QCM	61
Exercices	62
Solutions	63
<b>Chapitre 4 ■ Architecture des réseaux</b>	67
4.1 Liaisons de données	67
4.2 Éléments d'un réseau	68
4.2.1 Équipements terminaux	69
4.2.2 Équipements d'interconnexion	70
4.2.3 Contrôleurs de communication	70
4.3 Réseaux à commutation	71
4.3.1 Commutation de circuits	72
4.3.2 Commutation de paquets	72
4.3.3 Commutation de cellules	73
4.4 Normalisation	74
4.4.1 Le modèle OSI	74
4.4.2 Description des couches	75
4.4.3 Protocoles et services	76
4.5 Le support physique d'interconnexion	79
Exercices corrigés	83
QCM	83
Exercices	84
Solutions	86

<b>Chapitre 5 ■ Les réseaux locaux</b>	89
5.1 Introduction	89
5.2 Topologie des réseaux locaux	90
5.2.1 Topologie en étoile	90
5.2.2 Topologie en bus	91
5.3 Normalisation des réseaux locaux	92
5.4 Méthodes d'accès	94
5.4.1 Méthodes à répartition de canal	94
5.4.2 Méthodes à accès contrôlé	94
5.4.3 Méthodes à accès aléatoire	96
5.5 L'architecture Ethernet	97
5.5.1 Caractéristiques principales	97
5.5.2 Méthode d'écoute de la porteuse : CSMA/CD	97
5.5.3 L'Ethernet commuté	100
5.5.4 Normes et débits sur Ethernet	102
5.5.5 La sous-couche MAC	104
5.6 Les VLAN Ethernet	107
5.7 L'architecture sans fil 802.11 (WiFi)	109
5.7.1 La norme IEEE 802.11	110
5.7.2 La couche physique	111
5.7.3 Association et <i>handover</i>	112
5.7.4 La sous-couche MAC	113
5.7.5 Versions 802.11	118
5.8 L'architecture sans fil 802.15.1 (Bluetooth)	119
5.8.1 La norme IEEE 802.15.1	119
5.8.2 La couche physique	119
5.8.3 La sous-couche MAC	120
5.8.4 Bluetooth <i>Low Energy</i>	121
5.9 L'architecture sans fil 802.15.4	122
5.9.1 La norme IEEE 802.15.4	122
5.9.2 La couche physique	124
5.9.3 La sous-couche MAC	124
5.9.4 Les réseaux ZigBee	127
5.9.5 Les réseaux 6LowPAN	129
Exercices corrigés	133
QCM	133
Exercices	134
Solutions	137
<b>Chapitre 6 ■ Interconnexion de réseaux</b>	141
6.1 Équipements et protocoles	141
6.1.1 Équipements d'interconnexion	141
6.1.2 La pile TCP/IP	143
6.2 Le protocole IP ( <i>Internet Protocol</i> )	145
6.2.1 Format du paquet IP	145
6.2.2 L'adressage Internet	147

## Réseaux et transmissions

6.3 Les autres protocoles de niveau 3	157
6.3.1 Le protocole ARP	157
6.3.2 Le protocole ICMP	158
6.3.3 Le protocole DHCP	159
6.4 Le routage	160
6.4.1 Principe	160
6.4.2 Les algorithmes de routage	162
6.4.3 Le routage sur Internet	165
6.4.4 Le protocole RIP	165
6.4.5 Le protocole OSPF	167
6.4.6 Le protocole BGP	171
6.4.7 Routage et commutation	173
6.5 Le protocole TCP	174
6.5.1 Le transport de bout en bout	174
6.5.2 TCP et UDP	174
6.5.3 Le segment TCP	176
6.5.4 Les états TCP	177
6.5.5 Retransmission en cas de perte	179
6.5.6 Contrôle de flux et de congestion	181
6.6 La virtualisation des réseaux	184
6.6.1 Principe	184
6.6.2 Les SDN et les NFV	184
Exercices corrigés	187
QCM	187
Exercices	189
Solutions	191
<b>Chapitre 7 ■ Les réseaux d'opérateurs</b>	197
7.1 Caractéristiques des réseaux d'opérateurs	197
7.2 Le réseau téléphonique commuté	199
7.2.1 Architecture	199
7.2.2 La boucle locale	199
7.2.3 Le dégroupage	200
7.3 Le réseau ATM	201
7.3.1 Principe	201
7.3.2 Architecture	201
7.3.3 La couche ATM	202
7.4 Les liaisons SDH et SONET	204
7.5 Ethernet classe opérateur	206
7.6 L'architecture MPLS	207
7.6.1 Principe	207
7.6.2 Label et classes MPLS	208
7.6.3 Chemins MPLS	210
7.7 Les réseaux cellulaires	211
7.7.1 Généralités	211
7.7.2 Le réseau GSM	212

7.7.3 La 3G et l'UMTS	217
7.7.4 La 4G et le LTE-A	222
7.7.5 La 5G et le LTE-A_Pro	224
7.8 Les réseaux pour l'IoT	224
7.8.1 Le réseau longue distance LoRa	225
7.8.2 Le réseau longue distance Sigfox	226
7.8.3 La 5G pour l'IoT	227
Exercices corrigés	228
QCM	228
Exercices	229
Solutions	230
<b>Chapitre 8 ■ Le réseau Internet</b>	<b>233</b>
8.1 Présentation	233
8.2 Les opérateurs	233
8.3 Les FAI	235
8.3.1 La gestion des adresses	236
8.3.2 Les équipements	237
8.4 La connexion	237
8.4.1 L'accès ADSL	238
8.4.2 La fibre optique	238
8.4.3 L'accès sans fil	239
8.5 Les services	239
8.5.1 Le nommage DNS	239
8.5.2 Service web	245
8.5.3 Service de messagerie	245
8.5.4 Service de transfert de fichiers	248
8.5.5 Voix et vidéo sur IP	249
8.5.6 Services pour l'IoT	251
8.6 Les protocoles	251
8.6.1 PPP	251
8.6.2 HTTP	253
8.6.3 SMTP	255
8.6.4 POP3	256
8.6.5 IMAP	258
8.6.6 FTP	260
8.6.7 RTP et RTSP	261
8.6.8 SIP et RTSP	262
8.6.9 MQTT et CoAP	265
8.7 Le cloud	266
8.7.1 Principe	266
8.7.2 Types de déploiements	267
8.7.3 Modèles de services	268
Exercices corrigés	271
QCM	271
Exercices	273
Solutions	274

## Réseaux et transmissions

<b>Chapitre 9 ■ La sécurité dans les réseaux</b>	277
9.1 Pourquoi sécuriser ?	277
9.2 Les attaques	278
9.2.1 Techniques d'intrusion	278
9.2.2 Déni de service	281
9.3 Les défenses matérielles	282
9.3.1 Les <i>firewalls</i>	282
9.3.2 Le NAT	285
9.3.3 Les DMZ	286
9.3.4 Les <i>proxys</i>	286
9.3.5 Les VPN	286
9.4 Les défenses logicielles	288
9.4.1 Le cryptage	288
9.4.2 Le <i>hash</i>	291
9.4.3 La signature	292
9.4.4 L'authentification	292
9.4.5 Les certificats	293
9.5 Les protocoles de sécurité	295
9.5.1 Protocoles pour les tunnels VPN	296
9.5.2. Protocoles pour sécuriser les applications	301
9.5.3. Protocoles pour l'authentification sur un réseau	304
Exercices corrigés	308
QCM	308
Exercices	310
Solutions	314
<b>Index</b>	319

# AVANT-PROPOS

## Le monde IP

Hier, deux mondes coexistaient : le monde des télécommunications avec ses services propres et ses infrastructures fermées et le monde des informaticiens de l'Internet avec une organisation décentralisée, plus ouverte mais souvent moins fiable.

Aujourd'hui, devant la multiplication des services (téléphonie mobile, informations en temps réel, offres multimédia...) la tendance est à la convergence. Pour transporter des paquets d'un réseau à l'autre, plus d'alternative : c'est IP, un protocole conçu dans les années 1980, qui s'est imposé.

On en arrive même à un paradoxe : pour téléphoner, la voix est numérisée puis transportée dans des paquets IP, eux-mêmes envoyés après modulation sur le RTC (Réseau Téléphonique Commuté), pas du tout prévu au départ pour les paquets IP mais pour... le bon vieux téléphone analogique !

La voix, le son, les vidéos, les informations, tout est donc transporté dans des paquets IP, grâce à des opérateurs de transport et des opérateurs de câblage qui continuent à prendre en charge l'acheminement de ces précieux paquets. Ces opérateurs utilisent encore dans beaucoup d'endroits des paires torsadées de qualité médiocre, celles précisément qui ont été posées, il y a bien longtemps, pour offrir dans une démarche d'utilité publique le téléphone à tout le monde. Ces fils de cuivre, que l'on retrouve à l'extrémité du RTC vers l'abonné (la fameuse boucle locale), permettent donc aujourd'hui de transporter bien d'autres informations que la voix mais au prix de prouesses techniques comme la modulation sophistiquée présente dans l'ADSL.

Les limites de ces techniques sont sans doute atteintes. Les « hauts » débits proposés par l'ADSL2+ sont très rarement obtenus et nécessitent des distances de plus en plus réduites entre l'abonné et son répartiteur. Les hauts débits de demain ne pourront être obtenus qu'avec de nouvelles infrastructures qui mélangeront probablement, suivant l'environnement urbain ou rural, les fibres optiques et les transmissions sans fil des technologies cellulaires de la 5G.

Parallèlement, les protocoles développés au départ par des informaticiens de l'Internet ont la vie dure : IP, TCP, et toute la gamme des protocoles applicatifs contrôlant l'échange d'information (HTTP, DNS, SMTP...) ont peu changé. Les évolutions se retrouvent plutôt au niveau des contenus (pages dynamiques, animations, vidéo en ligne...) et de la sécurité (authentification, chiffrement, paiement en ligne...).

## Réseaux et transmissions

Une autre évolution majeure concerne l'Internet des objets. De plus en plus de systèmes communicants sont déployés dans notre environnement : un smartphone qui nous informe de l'état du trafic, un capteur de température autonome capable de transmettre périodiquement dans une zone donnée... Ces objets nécessitent le développement de nouvelles infrastructures et de nouveaux protocoles adaptés.

Du côté des réseaux locaux, la technologie Ethernet a acquis une situation de quasi-monopole avec des débits sans cesse augmentés (1 Gbit/s aujourd'hui, 100 Gbit/s demain) sur des câblages en paire torsadée peu onéreux. Le sans fil et l'avènement du WiFi avec ses évolutions constantes (802.11ac, ah...) propose aux entreprises et aux particuliers des performances satisfaisantes (jusqu'à 1 Gbit/s) dans les lieux où le câblage est difficile.

Enfin, avec l'augmentation des débits et des capacités de traitement et de stockage, les ressources, autrefois centralisées dans les entreprises, sont de plus en plus souvent délocalisées dans des *datacenters* composés de milliers de serveurs. Ces ressources sont donc virtualisées dans la mesure où, du point de vue de l'utilisateur, elles n'ont pas de réalité physique. Elles sont disséminées dans des machines virtuelles qui composent le *cloud*.

### Objectifs de ce livre

Ce livre a pour but de vous présenter de manière pédagogique les différents concepts et technologies de ces réseaux en perpétuelle évolution. Il s'adresse à des étudiants de niveau baccalauréat et ne nécessite aucune connaissance préalable dans le domaine.

Pour comprendre le rôle et le fonctionnement des protocoles en cours et de ceux à venir, il est en effet nécessaire de s'attacher avant tout aux principes de base plutôt qu'à la description détaillée de ces protocoles évolutifs : il est plus important de comprendre comment les informations circulent sur un câble entre deux ordinateurs que de connaître les spécifications du dernier commutateur Ethernet.

C'est pourquoi tout au long des chapitres, les concepts et les protocoles sont présentés très progressivement, comme des briques assemblées au fur et à mesure : comment comprendre le fonctionnement d'ADSL sans savoir ce qu'est une transmission série ?

Cette présentation se démarque de celle rencontrée dans la plupart des ouvrages sur les réseaux, dans lesquels les notions sont abordées suivant leur appartenance à telle ou telle couche du modèle de référence OSI plutôt que suivant une démarche linéaire.

### Contenu des chapitres

Les deux premiers chapitres présentent les concepts de base des transmissions entre deux ordinateurs. Pour chacun de ces concepts, des exemples concrets sont développés : le bus USB, le bus I2C...

Le chapitre 3 étend la description à des réseaux distants. Les transmissions ADSL et WiMAX sont présentées. L'explication de leur fonctionnement s'appuie sur celui

de la transmission du signal numérique grâce aux modems, nécessaires sur les longues distances.

Les briques de base de la transmission entre ordinateurs proches ou distants étant posées, le chapitre 4 aborde la normalisation des réseaux avec le fameux modèle de référence en couches, mais toujours en présentant les concepts, parfois abstraits, à partir d'exemples concrets.

À partir de la connaissance de cette normalisation, le chapitre 5 décrit les réseaux locaux, filaires ou sans fil, avec leurs normes (Ethernet, WiFi...) et leurs caractéristiques (topologies, accès au support, débit...).

Toujours dans l'idée d'étendre au fur et à mesure la présentation des concepts, le chapitre 6 traite de l'interconnexion des réseaux avec les différents dispositifs (commutateurs, routeurs...), les différents protocoles (TCP/IP, ICMP) et les différentes techniques de routage entre machines.

Le chapitre 7 décrit davantage les infrastructures qui permettent d'étendre le réseau en présentant les réseaux d'opérateurs tels le RTC ou les réseaux cellulaires et la 5G.

Le réseau Internet avec ses prestataires, ses services, ses protocoles (HTTP, IMAP...) et les principes de virtualisation dans le *cloud* est décrit dans le chapitre 8.

Enfin, le chapitre 9 est dédié à la sécurité dans les réseaux avec une présentation des solutions matérielles (*firewall*, VPN...) et logicielles (chiffrement, *hash*...) de sécurisation et les protocoles associés.

### Comment lire ce livre

Pour le lecteur novice dans le domaine, il est recommandé de respecter le caractère volontairement progressif des chapitres. Un lecteur familiarisé avec certains principes de base pourra aborder les chapitres dans un ordre différent, les concepts, protocoles et exemples étant bien séparés au sein de chaque chapitre. Par exemple un lecteur connaissant la modélisation des réseaux et les principes d'encapsulation pourra étudier directement le fonctionnement de TCP/IP au chapitre 6.

Pour valider les différentes étapes d'apprentissage, un résumé avec des mots-clés est proposé pour chacun des chapitres. Un QCM corrigé permet de vérifier rapidement la compréhension des concepts abordés. Des exercices corrigés de niveaux variés permettent au lecteur de vérifier ses connaissances et de les approfondir.



# CONCEPTS DE BASE

# 1

## PLAN

- 1.1 Systèmes de communication
- 1.2 Éléments d'une liaison
- 1.3 Modes d'exploitation
- 1.4 Codage et transmission série
- 1.5 Transmissions asynchrones et synchrones
- 1.6 Réseaux informatiques
- 1.7 Notion de protocole

## OBJECTIFS

- Connaître l'architecture générale des systèmes de télécommunication et des réseaux informatiques.
- Connaître les éléments de base d'une liaison série et comprendre comment les données sont codées et transmises.
- Comprendre la différence entre transmission asynchrone et synchrone.

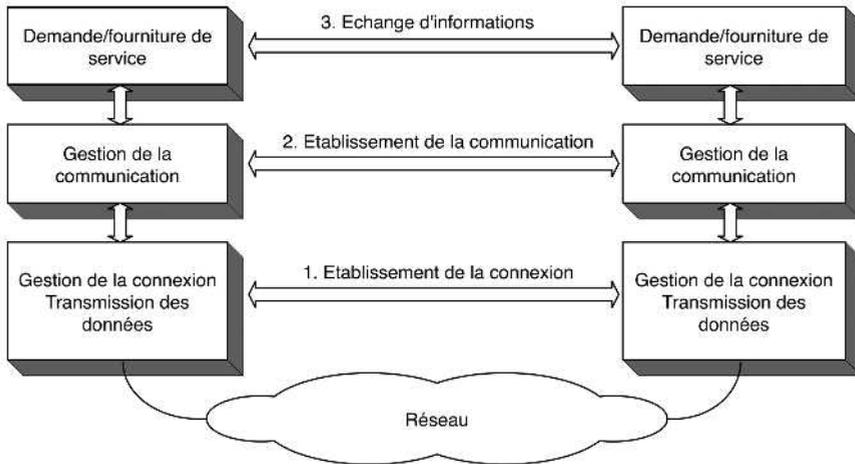
## 1.1 SYSTÈMES DE COMMUNICATION

Les besoins de communication de données informatiques entre systèmes plus ou moins éloignés sont multiples : transmission de messages, partage de ressources, transfert de fichiers, consultation de bases de données, gestion de transactions, lecture de vidéos ou de musiques, réseaux sociaux, réservations et paiements en ligne...

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

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

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



**Figure 1.1 – Architecture des systèmes de communication.**

C'est tout d'abord la connexion entre les deux systèmes qui est établie à travers le réseau (phase 1). Puis la communication est établie, vérifiant que les systèmes peuvent dialoguer : même « langage », mémoire disponible, services applicatifs présents (phase 2). Les applications peuvent alors échanger leurs informations (phase 3). Pour comprendre le rôle de chacun de ces blocs, une analogie simple avec le réseau téléphonique peut être faite :

- **phase 1 :**

- ◇ à l'initiative de l'appelant, la demande de connexion est initiée par la prise du combiné (la tonalité confirme que le réseau est disponible) et la numérotation,
- ◇ l'opérateur est chargé d'établir la connexion entre les deux postes téléphoniques,
- ◇ le combiné distant sonne, informant le destinataire de la demande de connexion.

Celui-ci répond en décrochant son combiné, **la connexion physique est établie** ;

- **phase 2 :** s'ils sont disponibles et s'ils parlent la même langue, les deux interlocuteurs peuvent être mis en relation par l'intermédiaire d'un secrétariat ou d'un standard par exemple, **la communication est établie** ;

- **phase 3 :** les deux interlocuteurs dialoguent.

On retrouve ces différents blocs fonctionnels, décomposés en couches, dans les modèles OSI et TCP-IP décrits dans le chapitre 4.

Matériellement, un réseau de transmission comprend des **équipements de raccordement** pouvant être externes (comme un modem, un routeur, un point d'accès sans fil ou encore une box Internet qui inclut ces trois fonctions) ou internes (carte réseau Ethernet ou WiFi par exemple). Ces équipements sont connectés entre eux par des lignes ou **supports physiques** de transmission (figure 1.2).

Un **réseau** de transmission de données peut donc être défini comme l'ensemble des ressources liées à la transmission et permettant l'échange des données entre les différents systèmes éloignés.

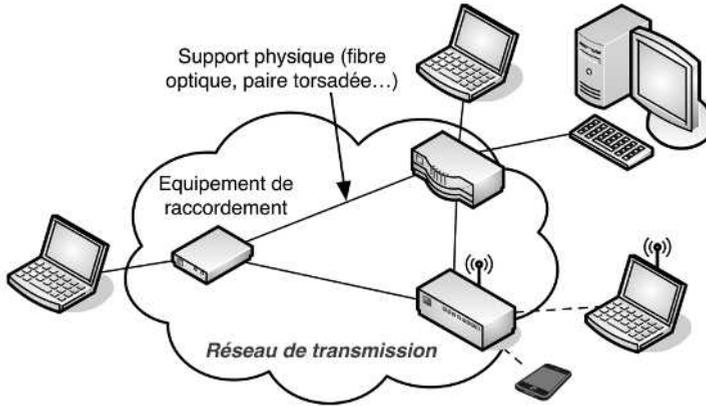


Figure 1.2 – Architecture d'un réseau de transmission.

Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les spécifications et les normes utilisées sont différentes. Les chapitres suivants analysent les principales normes utilisées dans les réseaux d'ordinateurs.

Les équipements de raccordement vont devoir mémoriser les informations, les coder et les transmettre en fonction des supports physiques et du réseau de transmission utilisés. Les paragraphes suivants ainsi que les chapitres 2 et 3 décrivent les modes de codage et de transmission.

La classification des réseaux de transmission est de plus en plus complexe. Mais deux familles de réseaux sont à distinguer. D'une part, les **réseaux informatiques** dont font partie les réseaux locaux étudiés aux chapitres 5 et 6 et qui sont à la **périphérie d'Internet**. Dans cette catégorie, les lignes de transmission et les équipements de raccordement sont le plus souvent la propriété de l'utilisateur.

D'autre part, les réseaux de télécommunication pour les liaisons longues distances présentés aux chapitres 7 et 8. Ces réseaux sont le plus souvent la propriété d'opérateurs de télécommunication (Orange, British Telecom, AT&T...) qui louent leur utilisation et des services aux clients. Les équipements de raccordement marquent alors la limite de propriété entre les équipements du client et ceux de l'opérateur. Ce sont ces réseaux qui permettent de relier entre eux les réseaux locaux informatiques et qui composent le **réseau cœur d'Internet**.

## 1.2 ÉLÉMENTS D'UNE LIAISON

La communication entre systèmes informatiques s'effectue *via* des liaisons dont les principaux éléments sont définis par les recommandations de l'**UIT-T** (Union Internationale des Télécommunications – secteur des Télécommunications). La figure 1.3 met en évidence ces différents éléments.

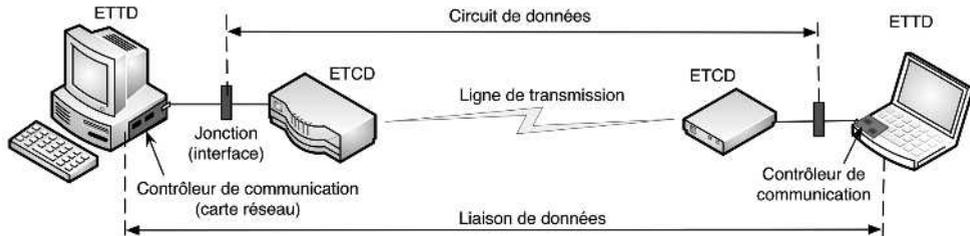


Figure 1.3 – Éléments d'une liaison.

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

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

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

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

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

## 1.3 MODES D'EXPLOITATION

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

### 1.3.1 Liaison simplex

L'un des systèmes est un émetteur, l'autre est un récepteur, les données sont transmises dans un seul sens (figure 1.4). L'exploitation en mode unidirectionnel est justifiée pour les systèmes dont le récepteur n'a jamais besoin d'émettre (liaisons radio ou télévision).

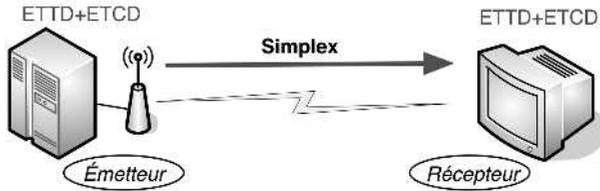


Figure 1.4 - Liaison simplex.

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

La transmission est possible dans les deux sens mais non simultanément, l'exploitation est en mode bidirectionnel à l'alternat (figure 1.5). Ce type de liaison est utilisé lorsque le support physique est commun aux deux sens de transmission (cas des lignes téléphoniques) et ne possède pas une largeur de bande suffisante pour permettre des liaisons bidirectionnelles simultanées par modulation de deux fréquences porteuses différentes ; des procédures particulières permettent alors d'inverser le sens de transmission (talkies-walkies, liaison WiFi).

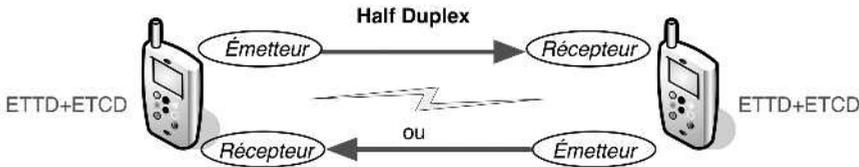


Figure 1.5 - Liaison *half duplex*.

### 1.3.3 Liaison duplex intégral (*full duplex*)

Les données peuvent être émises ou reçues simultanément dans les deux sens, l'exploitation est en mode bidirectionnel simultané (figure 1.6). À chaque sens de transmission correspond un canal de communication propre ; lorsque le support physique est commun aux deux sens de transmission, chaque canal est défini dans une bande de fréquences spécifique. Ainsi, une transmission sur Internet entre deux PC par l'intermédiaire de modems ADSL est de type *full duplex* asymétrique : la communication est possible dans les deux sens simultanément, mais pas avec les mêmes débits.

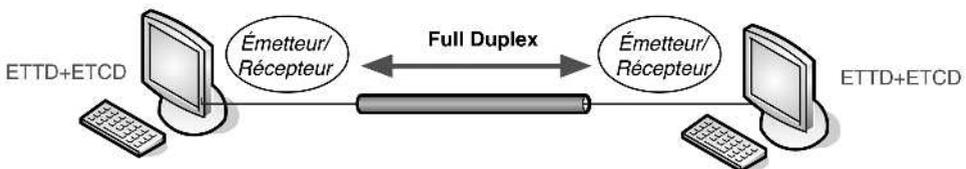


Figure 1.6 - Liaison *full duplex*.

## 1.4 CODAGE ET TRANSMISSION SÉRIE

Dans la plupart des réseaux d'ordinateurs, les informations sont de nature numérique mais leur transmission sur le support physique d'interconnexion (« la ligne ») peut être réalisée, suivant les besoins et les caractéristiques du support, sous forme analogique (RTC, Réseau Téléphonique Commuté) ou numérique (réseaux locaux Ethernet).

Dans les deux cas, une adaptation à la ligne est nécessaire. Pour une transmission analogique, cette adaptation consiste en une conversion numérique-analogique par modulation. Pour une transmission numérique, un simple codage est suffisant. Ces notions sont développées dans le chapitre 3.

Les informations numériques traitées et transmises dans les réseaux d'ordinateurs correspondent à une association d'éléments binaires ou bits (bit est la contraction de *binary digit*). Suivant le type de traitement réalisé et la nature des informations (texte, fichier vidéo, programme...), les éléments binaires sont regroupés pour former un ensemble significatif (octet, caractère sur 7 ou 8 bits...).

Le codage est l'opération qui fait correspondre à chaque caractère ou groupe de bits une valeur numérique déterminée exprimée le plus souvent en décimal ou en hexadécimal (code ASCII, ISO 8859...). Les éléments binaires composant un caractère codé sont généralement transmis les uns à la suite des autres, « sur un fil », ce qui correspond à une transmission série (figure 1.7).

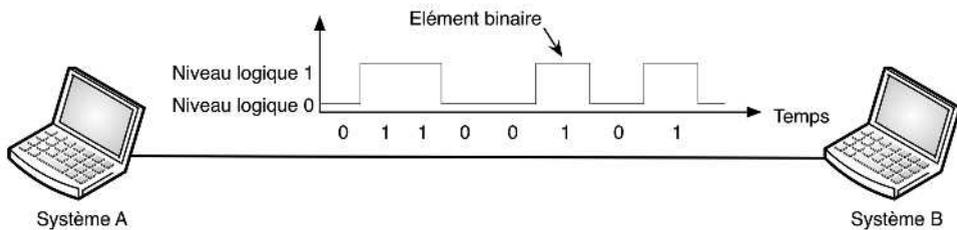


Figure 1.7 – Transmission série numérique entre deux systèmes.

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

## 1.5 TRANSMISSIONS ASYNCHRONE ET SYNCHRONE

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

## 1.5 ■ Transmissions asynchrone et synchrone

En émission, les données et l'horloge sont générées par l'émetteur. En réception, l'horloge de synchronisation peut provenir de l'émetteur (transmission sur une ligne spécifique ou reconstitution par le récepteur) ou être interne au récepteur.

Dans le premier cas, on parle de transmission synchrone car l'émetteur et le récepteur sont synchronisés sur la même horloge de référence. Ce mode est beaucoup plus fréquent dans les réseaux courte ou longue distance car il permet des débits beaucoup plus importants.

Dans le deuxième cas, la transmission est dite asynchrone ou arythmique, le récepteur doit synchroniser sa propre horloge sur la séquence des bits successifs émis (figure 1.8). Le mode asynchrone est orienté pour une transmission par caractères, ceux-ci peuvent être émis à tout moment, la synchronisation à la réception se faisant pour chacun d'eux.

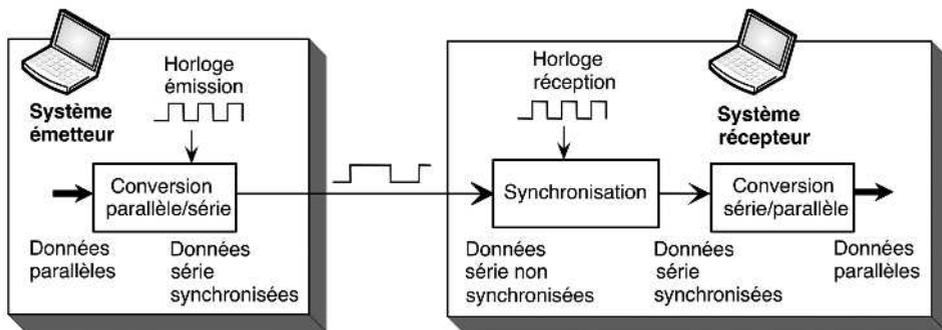


Figure 1.8 – Synchronisation en réception.

### 1.5.1 Transmission asynchrone

La trame asynchrone (figure 1.9) correspond à la transmission d'un octet ou d'un caractère ; dans ce dernier cas, la longueur dépend du codage utilisé (généralement ASCII pour les caractères alphanumériques) et est limitée à 7 ou 8 bits. Un certain nombre de bits sont associés à chaque caractère pour former la trame. Entre l'émission de deux trames, la ligne est au repos pour une durée quelconque.

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

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

- parité paire (*even*) : la parité est dite paire si le nombre de bits (bits de donnée et bit de parité compris) au niveau logique 1 est pair, le bit de parité est donc positionné dans l'émetteur en conséquence (cas de la figure 1.9) ;
- parité impaire (*odd*) : la parité est dite impaire pour un nombre impair de bits à 1.

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

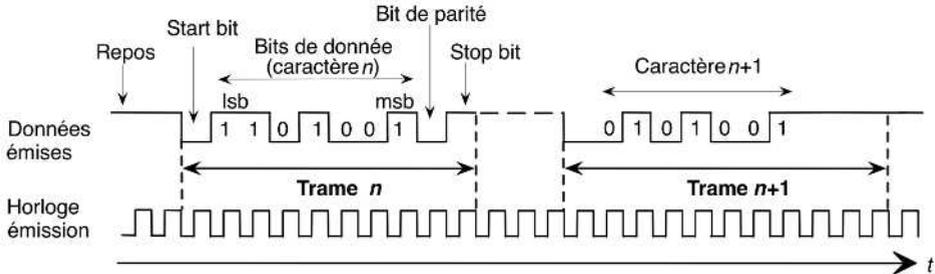


Figure 1.9 - Trame asynchrone.

La durée entre chaque bit étant constante et la synchronisation se faisant sur le bit de départ, le déphasage entre l'horloge de réception et les instants correspondant aux changements de bits est d'autant plus grand que ces derniers sont éloignés du bit de départ et que la fréquence de l'horloge de réception est éloignée de celle de l'horloge d'émission. Ceci limite, d'une part, le nombre de bits par trame et, d'autre part, les vitesses de transmission (débit maximum de l'ordre de 56 kbit/s sur une transmission asynchrone).

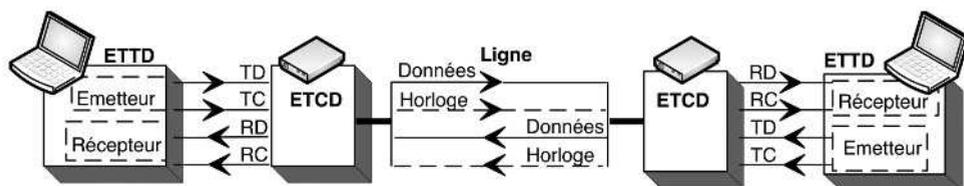
Il est à remarquer que les débits asynchrones ne correspondent pas aux vitesses effectives de transmission des informations dans la mesure où chaque caractère est encadré par plusieurs bits de contrôle (dans un codage ASCII sur 7 bits avec 1 bit de départ, 1 bit de parité et 1 bit de stop, 10 bits sont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

Par ailleurs, le récepteur dispose d'une mémoire tampon permettant le stockage au rythme de l'émission avant traitement. Lorsque cette mémoire est saturée ou sur le point de l'être, le récepteur doit demander à l'émetteur de suspendre son émission pour éviter de perdre des caractères. Il devra également demander la reprise d'émission lorsque la mémoire tampon sera libérée, après traitement des données mémorisées. Cette procédure de **contrôle de flux** peut être réalisée en utilisant des signaux spécifiques (par exemple, le récepteur fait passer le signal RTS/CTS au niveau haut en cas de saturation) ou des caractères spécifiques (par exemple, le caractère Xoff demande l'arrêt de l'émission, le caractère Xon demande la reprise).

### 1.5.2 Transmission synchrone

Lors d'une transmission synchrone, le signal d'horloge est transmis au récepteur ou reconstitué par ce dernier, ce qui évite une nouvelle synchronisation en réception et garantit des instants d'échantillonnage en phase quelle que soit la position relative du bit dans la séquence (figure 1.10).

## 1.5 ■ Transmissions asynchrone et synchrone



**Figure 1.10 – Liaison synchrone full duplex.**

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

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

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

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

Le début d'une trame est annoncé par un ou plusieurs caractères de synchronisation codés suivant le protocole utilisé. Suivent ensuite un champ de service pouvant contenir l'adresse de l'émetteur et du récepteur ou d'autres informations sur le type de trame ou la structure du message (début de fichier, début ou longueur de bloc...), un champ de données correspondant au message, un champ de contrôle permettant la détection des erreurs de transmission suivi éventuellement d'un ou plusieurs caractères de fin de trame (figure 1.11).



**Figure 1.11 – Structure générale d'une trame synchrone.**

Contrairement à la transmission asynchrone, la synchronisation au niveau bit et la synchronisation au niveau trame sont indépendantes et correspondent à deux niveaux distincts du modèle OSI (voir chapitre 4) : respectivement le niveau physique et le niveau liaison de données.

## 1.6 RÉSEAUX INFORMATIQUES

Suivant la localisation, les distances entre systèmes informatiques et les débits maximums, on peut distinguer trois types de réseaux (figure 1.12) :

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

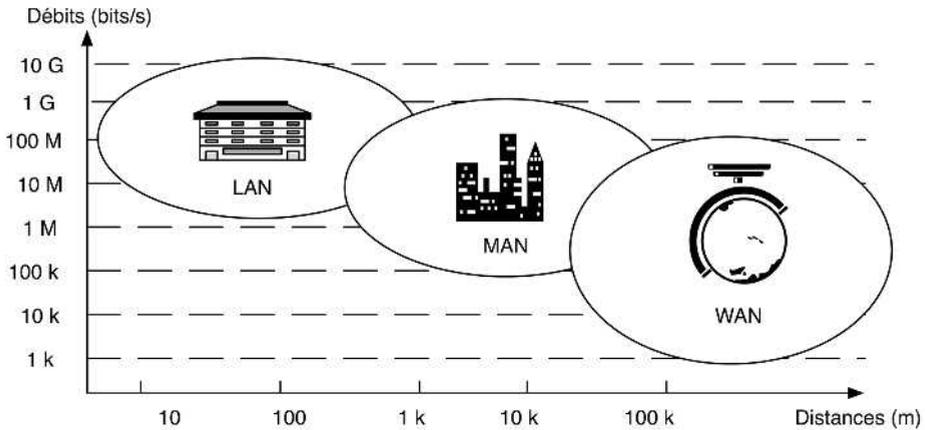


Figure 1.12 – Types de réseaux.

Ces réseaux sont généralement associés pour permettre une gestion ouverte et décentralisée des ressources informatiques au sein d'une entreprise. **Internet** (voir chapitre 8) qui relie aujourd'hui la grande majorité des ordinateurs peut être considéré comme une interconnexion à l'échelle mondiale de ces différents types de réseaux.

La figure 1.13 illustre ce que pourrait être l'organisation informatique au niveau d'une banque nationale où l'accès à l'information serait possible à partir de tout établissement ou pour tout client. Les agences correspondent à des LAN, l'ensemble formant un MAN ou un WAN suivant les distances.

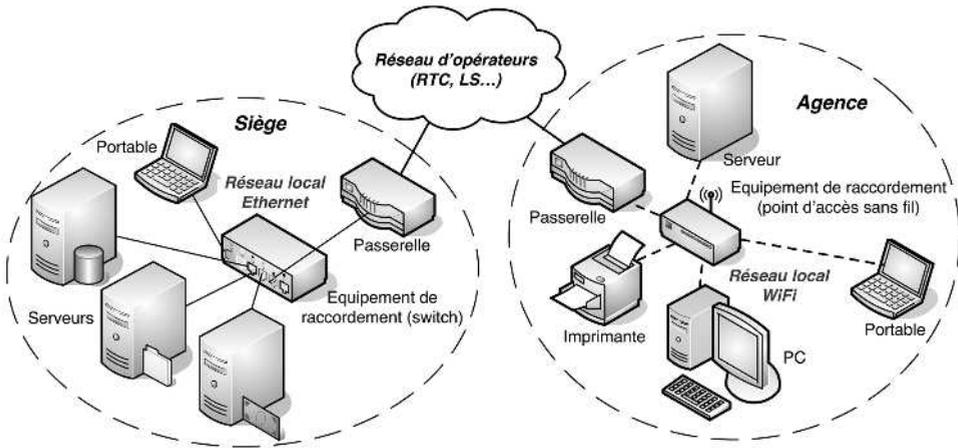


Figure 1.13 - Exemple d'organisation d'un réseau bancaire.

## 1.7 NOTION DE PROTOCOLE

Dans le monde des réseaux, un protocole définit un ensemble de règles suivies par les équipements pour se mettre en relation ou pour échanger des informations. Pour chacun des blocs fonctionnels décrits précédemment, un ensemble de protocoles sont définis :

- au niveau de la gestion de la **connexion**, des protocoles décrivent les opérations qui s'enchaînent pour assurer l'ouverture, la gestion et la fermeture de cette connexion (l'internaute connecte le modem ADSL de sa box, son FAI – Fournisseur d'Accès Internet – l'authentifie puis lui fournit un accès...) ;
- au niveau de la **communication**, des protocoles tels TCP (voir chapitre 6) gèrent le transport des données entre deux machines en s'appuyant sur la connexion précédemment établie ;
- au niveau du **service**, des protocoles décrivent les commandes et les réponses permettant de transférer et de traiter les données. Par exemple, dans le cas de HTTP, il s'agit de l'envoi d'une page web d'un serveur vers le navigateur d'un client.

### Résumé

- Les systèmes disposent de trois blocs fonctionnels : les applications qui veulent **échanger des données** ; les fonctions destinées à **établir et à gérer la communication** et les fonctions assurant la **transmission physique des données**.
- Un réseau de transmission comprend des **équipements de raccordement** (*switch*, point d'accès sans fil, routeur, modem, box Internet...) reliés par des **lignes de transmission**. Il existe deux familles de réseaux : les **réseaux locaux informatiques** à la périphérie d'Internet et les **réseaux de télécommunication** qui composent le réseau cœur d'Internet.
- Les systèmes informatiques communicants sont composés d'**ETTD** pour le traitement des données et d'**ETCD** pour le raccordement à la ligne. Ces deux éléments essentiels sont reliés par une **jonction** normalisée.
- Les systèmes distants peuvent communiquer dans un seul sens – **mode simplex** –, dans les deux sens alternativement – **half duplex** – ou dans les deux sens simultanément – **full duplex**.
- Le codage fait correspondre à chaque caractère une valeur binaire. Les éléments binaires sont transmis les uns après les autres : c'est la **transmission série**. La transmission des informations nécessite leur **mémorisation** et leur **codage**.
- Si l'émetteur transmet son signal d'horloge vers le récepteur, la transmission est dite **synchrone**. Sinon, la transmission est **asynchrone**. En transmission **synchrone**, le signal d'horloge peut être transmis séparément ou codé dans les données, les débits peuvent être beaucoup plus importants. Les données sont regroupées en trames pouvant contenir plusieurs milliers d'octets.
- Suivant la distance entre systèmes informatiques, on distingue les **LAN**, les **MAN** et les **WAN** respectivement à l'échelle d'une **entreprise**, d'une **ville**, de la **planète**.
- Un **protocole** décrit un ensemble de règles utilisées par les équipements pour établir une communication ou échanger des données. Ces protocoles peuvent concerner la **connexion** des équipements, la gestion de la **communication** ou la nature des **informations** échangées.

### Exercices corrigés

#### QCM

**Q1.1** Quel bloc fonctionnel est à l'origine de la demande de communication ?

- a) L'application
- b) La gestion de la communication
- c) La transmission des données

**Q1.2** Indiquer deux des fonctions assurées par un équipement de raccordement.

- a) Coder
- b) Assembler
- c) Mémoriser
- d) Transmettre
- e) Numéroté

**Q1.3** Citer les deux familles de réseaux.

- a) LAN
- b) MAN
- c) Informatique
- d) WAN
- e) Télécommunication

**Q1.4** Dans le cas du raccordement d'un réseau local sur un réseau d'opérateur, quel équipement marque la limite entre les deux réseaux ?

- a) De raccordement
- b) De transmission
- c) De connexion
- d) De routage

**Q1.5** Quelle opération fait correspondre une valeur binaire à un caractère ?

- a) L'assemblage
- b) Le codage
- c) La transmission
- d) La numérotation

**Q1.6** Indiquer le rôle du bit de parité dans une trame asynchrone :

- a) Synchronisation
- b) Délimitation de fin
- c) Contrôle d'erreur

**Q1.7** Sur un support physique dans un réseau, les bits d'un message sont transmis :

- a) Simultanément
- b) Séquentiellement

**Q1.8** Citer trois types de réseaux informatiques que l'on distingue en fonction de la distance entre les systèmes raccordés.

- a) LAN
- b) MAN
- c) Informatique
- d) WAN
- e) Télécommunication

**Q1.9** À quel type de réseau correspond un réseau d'opérateur ?

- a) LAN
- b) MAN
- c) WAN

**Q1.10** Dans l'exemple du réseau bancaire (figure 1.13), citer une fonction assurée par le réseau d'opérateur.

- a) Partage de ressources
- b) Gestion des clients
- c) Interconnexion de sites

**Q1.11** Les équipements cités font-ils partie de la catégorie des ETTD ?

- a) PC
- b) Modem
- c) Téléphone cellulaire
- d) Imprimante

**Q1.12** Les équipements cités font-ils partie de la catégorie des ETCD ?

- a) Terminal
- b) Téléphone cellulaire
- c) Routeur
- d) Carte réseau

**Q1.13** Quel est le mode d'exploitation utilisé dans une communication par téléphone cellulaire ?

- a) Simplex
- b) *Half duplex*
- c) *Full duplex*