

# **Réseaux et transmissions**

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



*Réseaux et télécoms*

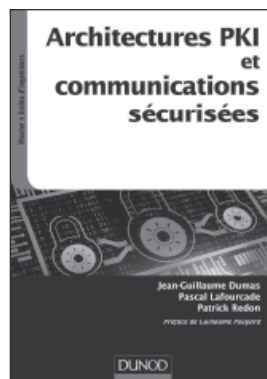
4<sup>e</sup> édition

Claude Servin

800 pages

Dunod, 2013

*Architectures PKI  
et communications sécurisées*  
Jean-Guillaume Dumas,  
Pascal Lafourcade, Patrick Redon  
400 pages  
Dunod, 2015



# Réseaux et transmissions

Protocoles, infrastructures  
et services

**Stéphane Lohier**

Maître de conférences en réseaux  
à l'université de Marne-la-Vallée

**Dominique Présent**

Maître de conférences en réseaux  
à l'université de Marne-la-Vallée

**6<sup>e</sup> édition**

DUNOD

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

Illustration de couverture :  
*Communication Cable* © alexmat46 - Fotolia.com

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

5 rue Laromiguière, 75005 Paris  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-074260-8

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>	<b>IX</b>
<b>Chapitre 1 • Concepts de base</b>	<b>1</b>
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 (half duplex)	5
1.4 Codage et transmission série	6
1.5 Transmissions asynchrones et synchrones	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>	<b>17</b>
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	25
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

<b>Chapitre 3 • Transmission du signal numérique</b>	<b>37</b>
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, Frequency Shift Keying)	41
3.2.2 Modulation par saut de phase (PSK, Phase Shift Keying)	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	43
3.3.1 Capacité	43
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	53
3.4.1 Principe	53
3.4.2 La modulation	54
3.4.3 ADSL2+ et les évolutions	56
3.5 Transmission sur fibre optique	57
3.6 Transmission sans fil WiMAX	58
Exercices corrigés	61
QCM	61
Exercices	62
Solutions	63
 <b>Chapitre 4 • Architecture des réseaux</b>	 <b>67</b>
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	73
4.3.3 Commutation de cellules	74
4.4 Normalisation	75
4.4.1 Le modèle OSI	75
4.4.2 Description des couches	76
4.4.3 Protocoles et services	77
4.5 Le support physique d'interconnexion	80
Exercices corrigés	83
QCM	83
Exercices	84
Solutions	86

<b>Chapitre 5 • Les réseaux locaux</b>	<b>89</b>
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
5.2.3 Topologie en anneau	92
5.3 Normalisation des réseaux locaux	93
5.4 Méthodes d'accès	94
5.4.1 Méthodes à répartition de canal	95
5.4.2 Méthodes à accès contrôlé	95
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	98
5.5.3 L'Ethernet commuté	101
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)	110
5.7.1 La norme IEEE 802.11	110
5.7.2 La couche physique	112
5.7.3 Association et handover	113
5.7.4 La sous-couche MAC	114
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	120
5.8.3 La sous-couche MAC	120
5.8.4 Bluetooth Low Energy	122
5.9 L'architecture sans fil 802.15.4	122
5.9.1 La norme IEEE 802.15.4	123
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	130
Exercices corrigés	133
QCM	133
Exercices	134
Solutions	138
<b>Chapitre 6 • Interconnexion de réseaux</b>	<b>143</b>
6.1 Équipements et protocoles	143
6.1.1 Équipements d'interconnexion	143
6.1.2 La pile TCP/IP	145
6.2 Le protocole IP (Internet Protocol)	147

## Réseaux et transmissions

6.2.1	Format du paquet IP	147
6.2.2	L'adressage Internet	149
6.3	Les autres protocoles de niveau 3	158
6.3.1	Le protocole ARP	158
6.3.2	Le protocole ICMP	159
6.3.3	Le protocole DHCP	160
6.4	Le routage	162
6.4.1	Principe	162
6.4.2	Les algorithmes de routage	164
6.4.3	Le routage sur Internet	166
6.4.4	Le protocole RIP	167
6.4.5	Le protocole OSPF	169
6.4.6	Le protocole BGP	172
6.5	Le protocole TCP	175
6.5.1	Le transport de bout en bout	175
6.5.2	TCP et UDP	175
6.5.3	Le segment TCP	177
6.5.4	Les états TCP	178
6.5.5	Retransmission en cas de perte	181
6.5.6	Contrôle de flux et de congestion	182
	Exercices corrigés	186
	QCM	186
	Exercices	187
	Solutions	190
	<b>Chapitre 7 • Les réseaux d'opérateurs</b>	<b>195</b>
7.1	Caractéristiques des réseaux d'opérateurs	195
7.2	Le réseau téléphonique commuté	197
7.2.1	Architecture	197
7.2.2	La boucle locale	197
7.2.3	Le dégroupage	198
7.3	Le réseau ATM	199
7.3.1	Principe	199
7.3.2	Architecture	199
7.3.3	La couche ATM	200
7.4	Les liaisons SDH et SONET	202
7.5	Ethernet classe opérateur	204
7.6	L'architecture MPLS	205
7.6.1	Principe	205
7.6.2	Label et classes MPLS	206
7.6.3	Chemins MPLS	207
7.7	Les réseaux cellulaires	208
7.7.1	Généralités	208
7.7.2	Le réseau GSM	210
7.7.3	La 3G et l'UMTS	215
7.7.4	La 4G et le LTE	219



Exercices corrigés	222
QCM	222
Exercices	223
Solutions	224
<b>Chapitre 8 • Le réseau Internet</b>	<b>227</b>
8.1 Présentation	227
8.2 Les opérateurs	227
8.3 Les FAI	230
8.3.1 La gestion des adresses	230
8.3.2 Les équipements	230
8.4 La connexion	231
8.4.1 L'accès ADSL	231
8.4.2 L'accès par le câble	231
8.4.3 La fibre optique	232
8.4.4 L'accès sans fil	233
8.5 Les services	234
8.5.1 Le nommage DNS	234
8.5.2 Service web	239
8.5.3 Service de messagerie	240
8.5.4 Service de transfert de fichiers	242
8.5.5 Voix et vidéo sur IP	243
8.6 Les protocoles	245
8.6.1 PPP	245
8.6.2 HTTP	247
8.6.3 SMTP	249
8.6.4 POP3	251
8.6.5 IMAP	252
8.6.6 FTP	254
8.6.7 RTP et RTSP	255
8.6.8 SIP et RTSP	256
Exercices corrigés	260
QCM	260
Exercices	262
Solutions	264
<b>Chapitre 9 • La sécurité dans les réseaux</b>	<b>267</b>
9.1 Pourquoi sécuriser ?	267
9.2 Les attaques	268
9.2.1 Techniques d'intrusion	268
9.2.2 Déni de service	271
9.3 Les défenses matérielles	272
9.3.1 Les firewalls	273
9.3.2 Le NAT	275
9.3.3 Les DMZ	275

## Réseaux et transmissions

9.3.4 Les proxys	276
9.3.5 Les VPN	277
9.4 Les défenses logicielles	278
9.4.1 Le cryptage	279
9.4.2 Le hash	281
9.4.3 La signature	282
9.4.4 L'authentification	283
9.4.5 Les certificats	283
9.5 Les protocoles de sécurité	285
9.5.1 Protocoles pour les tunnels VPN	286
9.5.2 Protocoles pour sécuriser les applications	289
9.5.3 Protocoles pour l'authentification sur un réseau	292
Exercices corrigés	296
QCM	296
Exercices	298
Solutions	301
<b>Index</b>	<b>305</b>

# AVANT-PROPOS

## La guerre des mondes

Hier, deux mondes coexistaient : le monde des télécommunications avec ses services propres et ses infrastructures fermées (« l'oligarchie » des opérateurs, Orange en tête) et le monde des informaticiens de l'Internet avec une organisation décentralisée, plus ouverte mais moins fiable (« l'anarchie » des protocoles).

Même si les informaticiens s'appuyaient parfois sur les infrastructures des « télécoms » pour échanger des données (les prémices d'Internet) chacun s'occupait jalousement de sa partie : le transport, la téléphonie et un peu d'échange de données pour l'un ; le courrier électronique, le transfert de fichiers et d'informations pour l'autre.

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 finalement pas si anarchique, qui a gagné la guerre !

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 tout de même à des opérateurs de transport et des opérateurs de câblage qui continuent, dans l'ombre, à prendre en charge l'acheminement de ces précieux paquets. Ces opérateurs ne disposent la plupart du temps que de paires torsadées de qualité bien 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, qui seront les bas débits d'après-demain, ne pourront être obtenus qu'avec de nouvelles infrastructures qui mélangeront probablement, suivant l'environnement rural ou urbain, des fibres optiques et des transmissions sans fil (avec WiMAX par exemple). Une

nouvelle guerre démarre, à un autre niveau, celle du nouveau câblage de la boucle locale !

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

Enfin du côté des réseaux locaux, d'autres guerres se terminent. Dans le monde filaire, 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 (802.11n, 802.11ad...) propose aux entreprises et aux particuliers des performances satisfaisantes (jusqu'à 500 Mbit/s) dans les lieux où le câblage est difficile.

### Objectifs de ce livre

Ce livre a pour but de vous présenter de manière pédagogique les différents concepts et technologies de ces différents mondes 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 développées. 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 le réseau ATM.

Enfin le réseau Internet avec ses prestataires, ses services et ses protocoles (POP3, HTTP...) 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 différents 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 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.

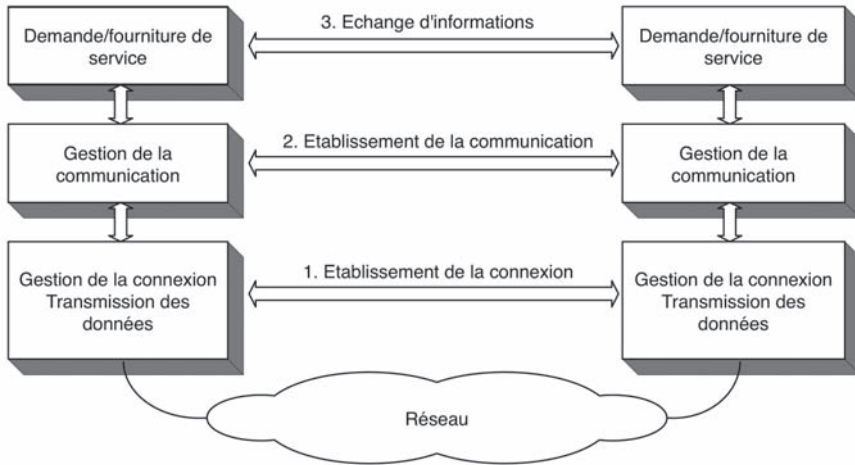


Figure 1.1 – Architecture des systèmes de communication.

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 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 ou un point d'accès sans fil) 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.



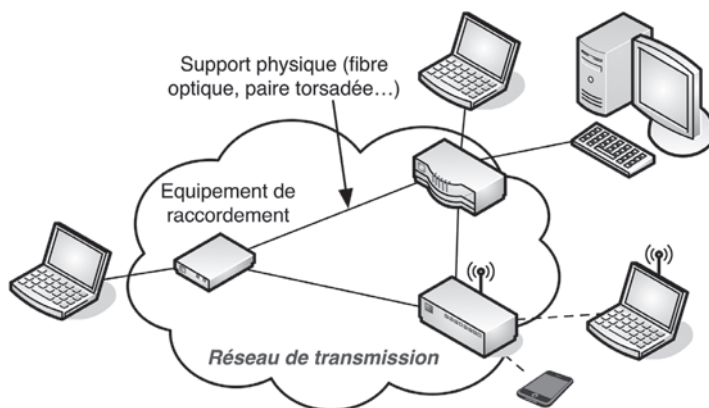


Figure 1.2 – Architecture d'un réseau de transmission.

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.

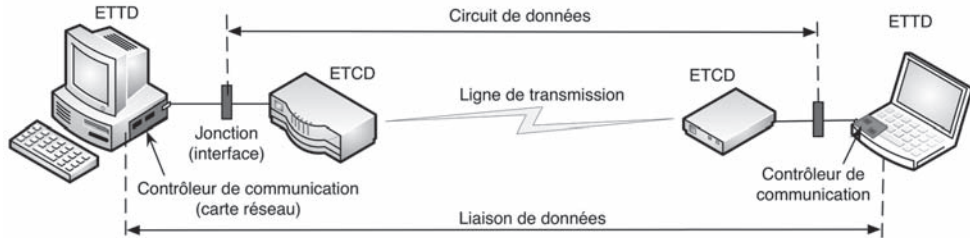


Figure 1.3 – Éléments d'une liaison.

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).

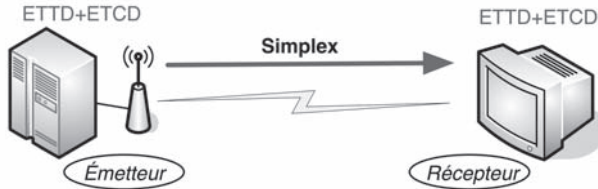
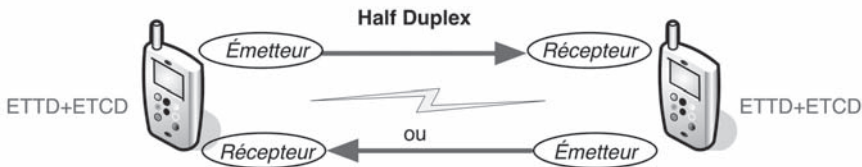


Figure 1.4 - Liaison simplex.

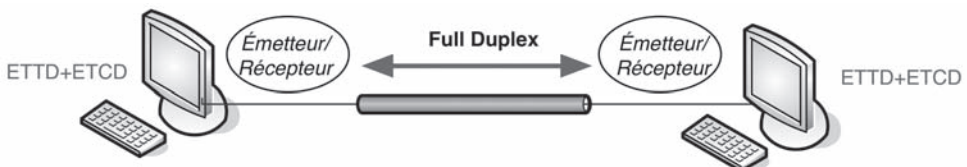
### 1.3.2 Liaison semi-duplex (*half duplex*)

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 fréquence 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).

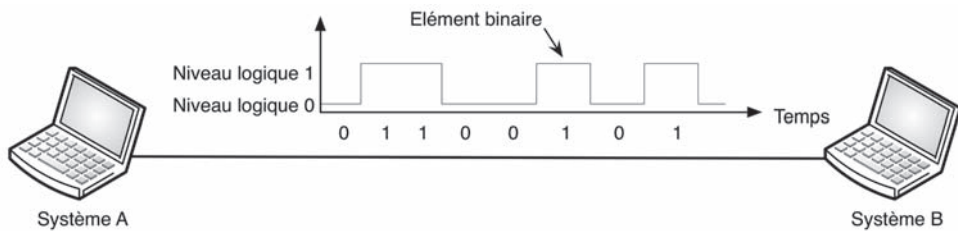


Figure 1.7 – Transmission série numérique entre deux systèmes.

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 ASYNCHRONES ET SYNCHRONES

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.

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

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

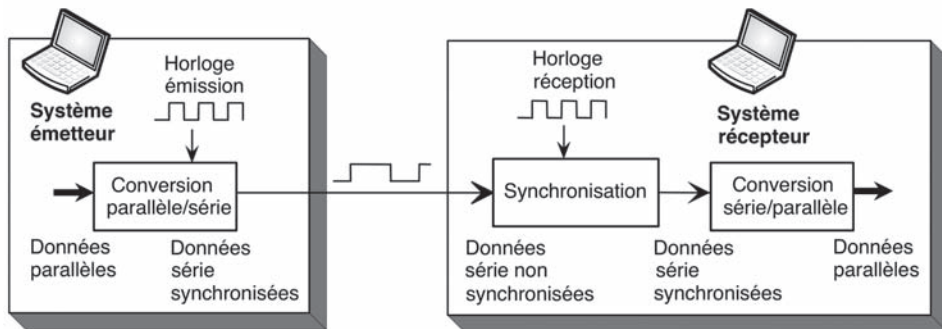


Figure 1.8 – Synchronisation en réception.

### 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.

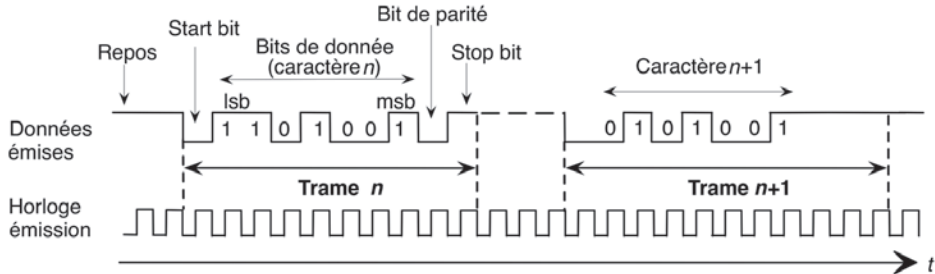


Figure 1.9 - Trame asynchrone.

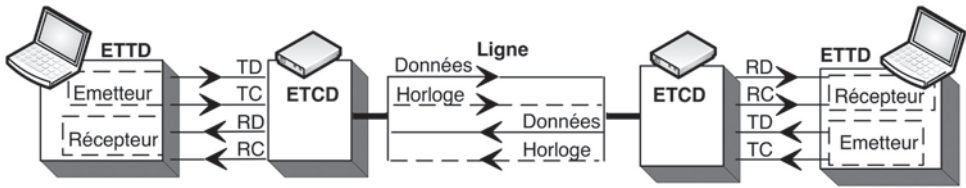
La durée entre chaque bit étant constante et la synchronisation se faisant sur le bit de départ, le déphasage entre l'horloge de réception et les instants correspondant aux changements de bits est d'autant plus grand que ces derniers sont éloignés du bit de départ et que la fréquence de l'horloge de 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 de l'émetteur est transmis sur la ligne au récepteur ou reconstitué par ce dernier, ce qui évite une nouvelle synchronisation en réception et garantit des instants d'échantillonnage en phase quelle que soit la position relative du bit dans la séquence (figure 1.10).

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 satellite).

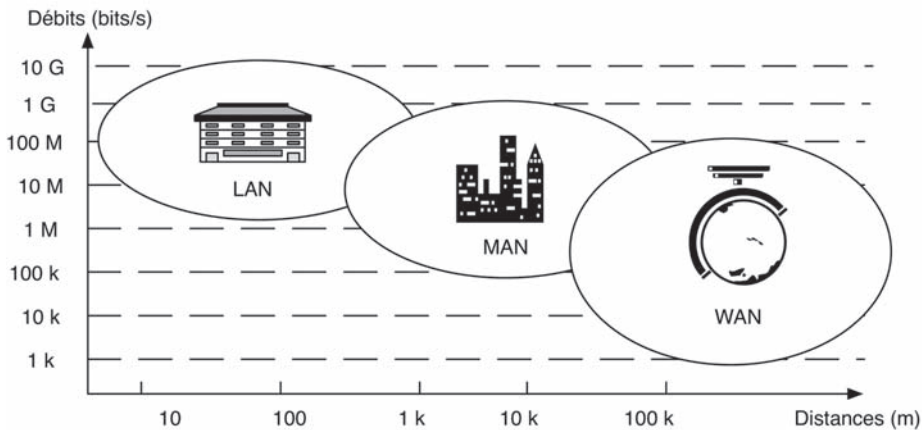


Figure 1.12 - Types de réseaux.

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.



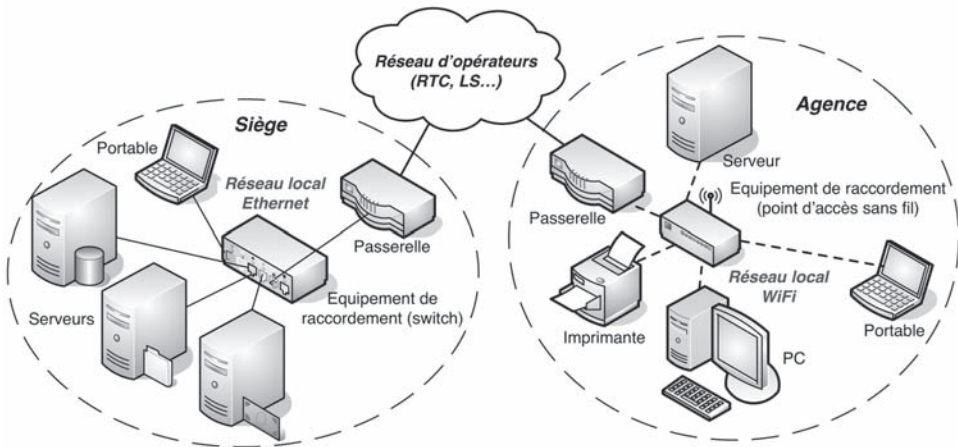


Figure 1.13 – Exemple d'organisation d'un réseau bancaire.

## 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 son modem ADSL, 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 des données**.
- Un réseau de transmission comprend des **équipements de raccordement** (switch, point d'accès sans fil, routeur, modem...) 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