

Aide-mémoire de  
**RÉSEAUX ET TÉLÉCOMS**



**Claude Servin**

Aide-mémoire de  
**RÉSEAUX ET TÉLÉCOMS**

**2<sup>e</sup> édition**

**DUNOD**

Graphisme de couverture : Pierre-André Gualino

Photo de couverture : © Rost9 / shutterstock

Mise en page : Belle Page

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, 2012, 2020

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-080941-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° 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>XI</b>
<b>Partie 1 Notions de base sur les réseaux</b>	<b>1</b>
<b>1. Qu'est-ce qu'un réseau ?</b>	<b>3</b>
<b>2. Le modèle OSI</b>	<b>8</b>
2.1 Description du modèle de référence	8
2.2 Principes de base d'une architecture en couche	10
<b>3. L'architecture TCP/IP</b>	<b>12</b>
3.1 Origine	12
3.2 Principe architectural	13
3.3 Description générale de l'environnement TCP/IP	14
3.4 Conclusion	16
<b>Partie 2 Éléments physiques de la liaison de données</b>	<b>17</b>
<b>4. Les supports et leur limitation</b>	<b>19</b>
4.1 Les supports cuivre	19
4.2 Les supports guidés	23
4.3 Les supports non guidés	41
<b>5. Les modes de transmission</b>	<b>46</b>
5.1 L'organisation des échanges	46
5.2 Transmissions bande de base et large bande	51
5.3 La transmission large bande	57
<b>6. Le multiplexage</b>	<b>61</b>
6.1 Le multiplexage spatial	62
6.2 Le multiplexage temporel	64

6.3	Le multiplexage inverse	65
6.4	Conclusion	66
<b>Partie 3 Les protocoles de liaison</b>		<b>67</b>
<b>7. Les fonctions élémentaires</b>		<b>69</b>
7.1	Notion de protocole	69
7.2	La délimitation des données	69
7.3	Le contrôle d'erreur	71
<b>8. Exemples de protocole de liaison</b>		<b>75</b>
8.1	SLIP ( <i>Serial Line Internet Protocol</i> )	75
8.2	HDLC ( <i>High Level Data Link Control</i> )	76
8.3	PPP ( <i>Point to Point Protocol</i> )	90
8.4	Conclusion	99
<b>Partie 4 Le niveau réseau</b>		<b>101</b>
<b>9. Le concept de réseau à commutation</b>		<b>103</b>
9.1	Définitions	103
9.2	Les réseaux à commutation	105
9.3	Performances des réseaux à commutation	109
<b>10. Les réseaux à commutation de paquets</b>		<b>111</b>
10.1	Du mode datagramme au mode connecté	111
<b>11. Les techniques réseau</b>		<b>116</b>
11.1	La notion d'adressage	116
11.2	La segmentation et le réassemblage	120
11.3	Le contrôle de congestion	121
11.4	L'acheminement	123
<b>12. Le réseau IP</b>		<b>128</b>
12.1	L'adressage dans IP	128
12.2	L'adressage dans le réseau logique	129
12.3	Les techniques d'adressage dans un réseau IP (IPv4)	130
12.4	La structure du datagramme IP	138
12.5	Le contrôle de la fragmentation sous IP	142
<b>13. D'IPv4 à IPv6</b>		<b>144</b>
13.1	Les lacunes d'IPv4	144
13.2	L'adressage dans IPv6	145

13.3	Le datagramme IPv6	148
13.4	Migration IPv4 vers IPv6	150
13.5	Conclusion	157
<b>Partie 5</b>	<b>Les protocoles de transport : TCP et UDP</b>	<b>159</b>
<b>14.</b>	<b>Les mécanismes de base de TCP</b>	<b>161</b>
14.1	La notion de connexion de transport	161
14.2	Établissement de la connexion de transport	164
14.3	Le mécanisme contrôle de l'échange	165
14.4	L'option d'estampille horaire	170
<b>15.</b>	<b>Le segment TCP et les mécanismes associés</b>	<b>171</b>
15.1	La structure du segment TCP	171
15.2	Le contrôle d'erreur	172
15.3	La taille des segments	173
15.4	Le TCP et les réseaux à haut débit	174
<b>16.</b>	<b>TCP/UDP et le multimédia, le contrôle de flux et de congestion</b>	<b>175</b>
16.1	Définitions	175
16.2	Le contrôle de flux	176
16.3	Le contrôle de la congestion	176
16.4	UDP dans IPv4	181
16.5	UDP dans IPv6	182
16.6	Conclusion	182
<b>Partie 6</b>	<b>TCP/IP utilitaires et applications</b>	<b>185</b>
<b>17.</b>	<b>Les utilitaires de la couche réseau</b>	<b>187</b>
17.1	Le protocole ICMP	187
17.2	La résolution d'adresses	191
17.3	Les utilitaires de configuration dans IPv4	195
17.4	L'autoconfiguration dans IPv6	197
17.5	IP et la mobilité	198
<b>18.</b>	<b>Les applications de l'environnement TCP</b>	<b>202</b>
18.1	Notions d'annuaire	202
18.2	Le transfert de fichiers	208
18.3	L'émulation de terminal (Telnet)	210

18.4	La messagerie électronique	211
18.5	Les notions de middleware	214
<b>Partie 7</b>	<b>Les réseaux locaux</b>	<b>221</b>
<b>19.</b>	<b>Le réseau local</b>	<b>223</b>
19.1	Les constituants d'un réseau local	223
19.2	Les réseaux locaux et la normalisation	224
19.3	La couche physique	224
19.4	La sous-couche MAC	225
19.5	La couche liaison (LLC)	228
<b>20.</b>	<b>Les réseaux Ethernet</b>	<b>230</b>
20.1	Présentation	230
20.2	Caractéristiques des réseaux Ethernet	232
20.3	Les versions d'Ethernet	235
<b>21.</b>	<b>La commutation dans les LAN – Les réseaux virtuels ou VLAN</b>	<b>240</b>
21.1	Principe de la commutation dans les LAN	240
21.2	Contrôle de flux dans les commutateurs	241
21.3	Ethernet <i>full duplex</i>	242
21.4	Principes généraux des VLAN	243
21.5	L'identification des VLAN (802.1Q)	244
<b>22.</b>	<b>L'Ethernet sans fil</b>	<b>247</b>
22.1	Généralités	247
22.2	La problématique de l'accès aux réseaux sans fil	247
22.3	L'architecture générale des réseaux sans fil	248
22.4	Les réseaux 802.11	249
22.5	Conclusion	259
<b>Partie 8</b>	<b>Les réseaux d'opérateur</b>	<b>261</b>
<b>23.</b>	<b>Structure et protocoles</b>	<b>263</b>
23.1	Architecture générale	263
23.2	Structure générale d'un réseau	264
23.3	Le plan de transmission	265
23.4	Le plan de service	266
23.5	Conclusion	282

<b>24. MPLS (Multiprotocol Label Switching)</b>	<b>284</b>
24.1 Principe	284
24.2 Le réseau MPLS	285
24.3 Les VPN MPLS	289
24.4 G-MPLS (RFC 3945)	291
24.5 MPLS et IPv6 (6PE)	292
24.6 Conclusion	293
<b>25. L'accès aux réseaux, la boucle locale</b>	<b>294</b>
25.1 Définition	294
25.2 Organisation de la distribution des accès	294
25.3 Les accès haut débit	295
25.4 Sécurisation des accès	299
25.5 Conclusion	302
<b>26. Ethernet dans les MAN et WAN</b>	<b>303</b>
26.1 Ethernet à grande distance (CGE, <i>Carrier Grade Ethernet</i> )	303
26.2 Architecture d'un réseau Ethernet CGE	306
<b>Partie 9 Interconnexion des réseaux et la qualité de service</b>	<b>309</b>
<b>27. L'interconnexion des réseaux</b>	<b>311</b>
27.1 Définition	311
27.2 Les problèmes liés à l'interconnexion	311
27.3 L'encapsulation ou <i>tunneling</i>	312
<b>28. Les éléments d'interconnexion (relais)</b>	<b>314</b>
28.1 Définitions	314
28.2 Les routeurs	315
<b>29. Les techniques de routage</b>	<b>317</b>
29.1 Généralités	317
29.2 Le routage dans le réseau IP	318
<b>30. Le routage multicast</b>	<b>332</b>
30.1 Introduction au <i>multicast</i>	332
30.2 Le protocole local IGMP (RFC 1112)	333
30.3 Les protocoles de routage multicast	333
30.4 Internet et le multicast	336

<b>Partie 10 La téléphonie sur IP</b>	<b>337</b>
<b>31. Principes généraux de la téléphonie</b>	<b>339</b>
31.1 Introduction	339
31.2 De l'analogique à la ToIP	340
31.3 Notions d'autocommutateurs privés	347
<b>32. La téléphonie sur IP</b>	<b>352</b>
32.1 Généralités	352
32.2 La téléphonie, une application parmi d'autres ?	353
<b>33. L'architecture logique et la signalisation</b>	<b>358</b>
33.1 L'architecture H.323 de l'UIT-T	359
33.2 Le protocole SIP de l'IETF (RFC 3261)	362
33.3 Signalisation, la synthèse	367
<b>34. Mise en œuvre de la ToIP</b>	<b>368</b>
34.1 L'architecture générale	368
34.2 La qualité de service	375
34.3 Conclusion	377
<b>Partie 11 La sécurité des systèmes d'informations</b>	<b>379</b>
<b>35. La sécurité des données</b>	<b>381</b>
35.1 Généralités	381
35.2 La protection des données	382
<b>36. La sécurisation des échanges</b>	<b>388</b>
36.1 L'usurpation d'identité	388
36.2 La sécurité et le protocole de transmission	389
<b>37. La sécurisation du réseau</b>	<b>394</b>
37.1 Les menaces	394
37.2 La protection de l'intranet	395
37.3 Conclusion	402
<b>Annexes</b>	<b>403</b>
<b>Index</b>	<b>413</b>

## AVANT-PROPOS

Avec Internet, les réseaux sont sortis du domaine de l'entreprise et ont envahi le domicile. Du routeur ADSL à l'imprimante Wi-Fi, le « *home réseaux* » met en œuvre des techniques similaires à celles des réseaux d'entreprise. Aussi, l'étudiant en informatique, le technicien réseau en entreprise et le simple particulier curieux doivent tous posséder une connaissance des réseaux allant de la simple connectivité aux aspects de sécurité. Le but de cet ouvrage est donc d'aborder succinctement mais avec précision toutes les connaissances nécessaires à la bonne compréhension des techniques réseaux.

La vocation de la collection Aide-mémoire étant d'apporter rapidement la réponse à une question, cet ouvrage a été divisé en 38 thèmes regroupés en 11 parties ce qui lui confère exhaustivité, précision et synthèse.

La première partie « Notions de base sur les réseaux » introduit la notion d'architecture notamment TCP/IP. La deuxième décrit les éléments d'une liaison de données, notamment les supports, en s'attardant sur les problèmes de câblage de paires torsadées. La troisième rappelle les principes des protocoles et présente HDLC, PPP... La quatrième aborde la problématique des réseaux avec le concept d'adressage, d'acheminement et de contrôle. Les cinquième et sixième parties sont consacrées aux protocoles de l'environnement TCP/IP. La septième, huitième et neuvième parties sont dédiées aux réseaux d'opérateur, à la mise en œuvre et à la qualité de service de leurs réseaux. La dixième partie se consacre à l'étude de la téléphonie et tout particulièrement à la téléphonie sur IP tandis que la onzième et dernière partie aborde la sécurité.

Ainsi, le professionnel et l'étudiant curieux trouveront dans les pages qui suivent le rappel de toutes les connaissances fondamentales pour comprendre, mettre en œuvre et entretenir avec discernement un réseau.



Le lecteur trouvera sur le site [dunod.com](http://dunod.com) :

- Un lexique de toutes les abréviations et acronymes utilisés dans cet ouvrage.
- Un glossaire.

## **Note de l'éditeur**

Pour aller plus loin, l'ouvrage du même auteur, *Réseaux et télécoms* (4<sup>e</sup> édition, Dunod, 2013, 800 pages), propose un cours détaillé.

# 1

## Notions de base sur les réseaux



# 1

## Qu'est-ce qu'un réseau ?

En informatique, le terme réseau recouvre un ensemble de moyens matériels (*hardware*) et logiciels (*software*) mis en œuvre pour permettre l'échange de données entre postes de travail, serveurs, machines industrielles... enfin tout élément dit connecté. En fonction des distances séparant les éléments interconnectés, les techniques utilisées diffèrent. Ainsi a-t-on défini une classification des réseaux essentiellement basée sur le critère distance (figure 1.1).

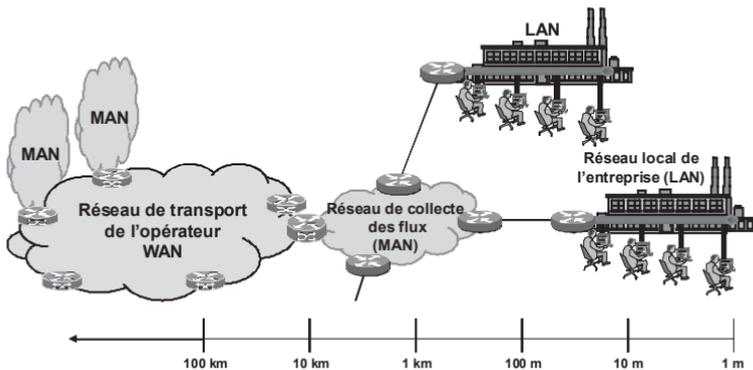


Figure 1.1 Relation entre les différents réseaux.

Cette classification traditionnelle correspond à un ensemble de contraintes que le concepteur doit prendre en compte lors de la réalisation de son réseau :

- **LAN** (*Local Area Network*), la notion de réseau local englobe un ensemble de techniques allant de celles nécessaires à la communication de plusieurs centaines de machines d'un même établissement

d'une entreprise à celles beaucoup plus simples mises en œuvre par un particulier pour relier son ordinateur et son imprimante à sa connexion Internet. Ces deux approches peuvent utiliser des techniques similaires filaires ou radio.

- ▶ **MAN** (*Metropolitan Area Network*), d'une étendue de l'ordre d'une centaine de kilomètres, les MAN sont généralement utilisés pour fédérer les réseaux locaux ou assurer la desserte informatique de circonscriptions géographiques importantes (réseaux de campus).
- ▶ **WAN** (*Wide Area Network*), ces réseaux assurent l'acheminement des informations sur de grandes distances. Lorsque ces réseaux appartiennent à des opérateurs, les services sont offerts à des abonnés contre une redevance. Le réseau Internet n'a lui aucune existence propre, il est constitué d'un ensemble de réseaux d'opérateurs interconnectés entre eux (Réseaux de réseaux).

De la détermination d'une route dans un réseau longue distance (WAN) à la localisation de la machine finale sur le réseau local (LAN), les techniques diffèrent et leur complexité aussi, mais le fondement des échanges reste la communication entre deux machines généralement appelées **nœuds du réseau**, que ceux-ci soient des **nœuds intermédiaires** dans un réseau WAN ou les machines terminales d'un réseau local. Cette relation directe entre deux nœuds s'appelle **une liaison point à point** (figure 1.2).



Figure 1.2 Liaison point à point.

Une liaison point à point met en relation deux systèmes informatiques (*hosts*), que ceux-ci soient des ordinateurs terminaux ou des nœuds intermédiaires d'un réseau, et met en œuvre divers éléments et un ensemble de règles d'échange désigné sous le terme de **protocole**.

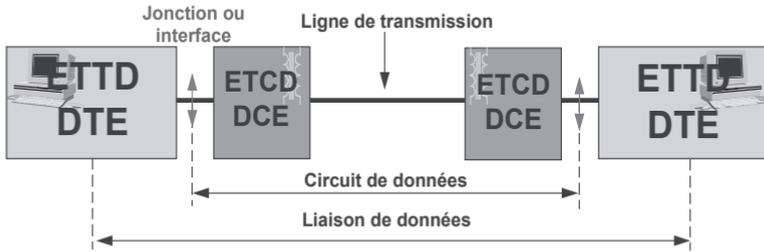


Figure 1.3 Constituant de base d'une liaison de données.

La figure 1.3 distingue :

- ▶ Les équipements terminaux (*End system*) ou **ETTD** (Équipement terminal de traitement de données), appelés aussi **DTE** (*Data Terminal Equipment*), ce sont soit des *hosts* soit les nœuds intermédiaires d'un réseau pris deux à deux. Ces machines sont dotées de circuits particuliers pour contrôler les communications (contrôleur de transmission). L'ETTD réalise la fonction de contrôle du dialogue.
- ▶ Des équipements d'adaptation ou **ETCD** (Équipement terminal de circuit de données), ou **DCE** (*Data Circuit Equipment*), réalisent l'adaptation entre les calculateurs d'extrémité et le support de transmission. Ces éléments remplissent essentiellement des fonctions électroniques ; ils transforment les données à transmettre en signaux adaptés aux caractéristiques du support de transmission. Ils modifient la nature du signal, mais pas sa signification.
- ▶ La **jonction**, interface entre ETTD (DTE) et ETCD (DCE), permet à l'ETTD de gérer l'ETCD afin d'assurer un déroulement correct des communications (établissement du circuit, initialisation de la transmission, échange de données et libération du circuit).
- ▶ Enfin, le **support** ou **ligne de transmission**, élément passif essentiel à la liaison et qui conditionne fortement les performances d'un système de transmission.

La liaison point à point relie physiquement deux nœuds, les problèmes à résoudre sont donc des problèmes de connectivité, d'adaptation au

support, de codage et décodage des informations. Alors que dans un réseau WAN, l'essentiel est la détermination d'une route afin d'assurer le transfert des informations entre l'installation source et l'installation destinatrice où il sera alors nécessaire d'identifier la machine cible sur le LAN local. La figure 1.4 illustre les différences essentielles d'acheminement entre les WAN et les LAN.

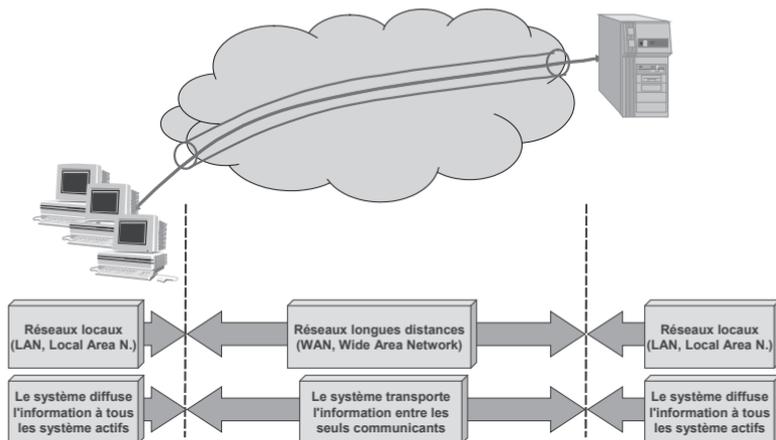


Figure 1.4 LAN et WAN, les différences fondamentales.

La différence de nature des problèmes évoqués succinctement ci-dessus, la complexité croissante des besoins de communication et la diversité des solutions adoptées ont très vite fait apparaître la nécessité de définir un cadre de développement complet qui « normalise » les solutions, ce modèle porte le nom d'**architecture protocolaire de réseau**.

Historiquement, chaque grand constructeur avait défini la sienne : SNA (*System Network Architecture*) pour IBM, DSA (*Distributed System Architecture*) pour BULL... Ces architectures propriétaires incompatibles entre elles ne permettaient pas l'interopérabilité des systèmes. Aussi, convenait-il

de définir des techniques de mise en relation en spécifiant une architecture normalisée. C'est ce qu'entreprit l'ISO (*International Standardization Organization*)<sup>1</sup> en définissant une architecture de communication normalisée, couramment appelée modèle de référence ou modèle OSI (*Open System Interconnection*).

---

<sup>1</sup> C'est une habitude franco-française de traduire le terme ISO en *International Standardization Organization* ; en fait le nom officiel de l'ISO est : « *International Organization for Standardization* » et c'est parce que le nom de l'Organisation internationale de normalisation donnerait lieu à des abréviations différentes selon les langues (« IOS » en anglais et « OIN » en français), qu'il a été décidé d'emblée d'adopter un mot dérivé du grec *isos*, signifiant « égal ». La forme abrégée du nom de l'organisation est par conséquent toujours ISO (extrait du site officiel de l'ISO - [www.iso.org](http://www.iso.org)). Il n'y a donc pas de traduction réelle de ce terme, ISO n'est pas un acronyme.

# 2

## Le modèle OSI

### 2.1 Description du modèle de référence

Après de nombreux débats, le modèle de référence a identifié sept grandes fonctionnalités définies en sept couches. En effet, pour réaliser une communication à travers un ou plusieurs systèmes intermédiaires (relais), il faut (figure 2.1) :

- ▶ relier les systèmes par un lien physique (couche ou niveau PHYSIQUE) ;
- ▶ contrôler qu'une liaison est correctement établie sur ce lien (couche ou niveau LIAISON) ;
- ▶ assurer à travers le relais (réseau) l'acheminement des données et la délivrance au bon destinataire (couche ou niveau RÉSEAU) ;
- ▶ contrôler, avant de délivrer les données à l'application que le transport s'est réalisé correctement de bout en bout (couche ou niveau TRANSPORT) ;
- ▶ organiser le dialogue entre toutes les applications, en gérant des sessions d'échange (couche ou niveau SESSION) ;
- ▶ traduire les données selon une syntaxe d'échange compréhensible par les deux entités d'application (couche ou niveau PRÉSENTATION) ;
- ▶ fournir à l'application utilisateur tous les mécanismes nécessaires pour masquer à celle-ci les contraintes de transmission (couche ou niveau APPLICATION).

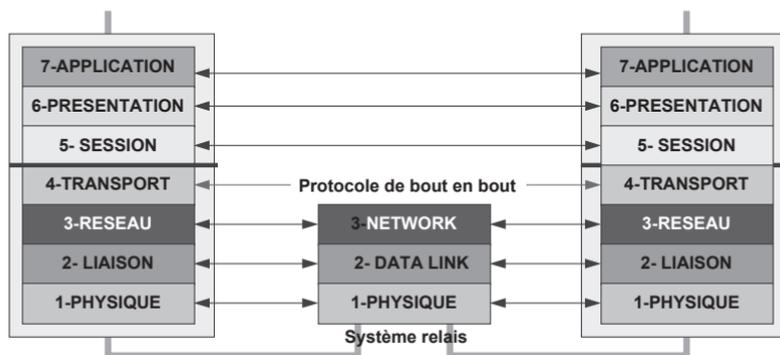


Figure 2.1 Le modèle de référence.

Le tableau 2.1 présente une synthèse des fonctionnalités de chacune des couches composant le modèle.

Tableau 2.1 Synthèse des fonctionnalités de chaque couche.

COUCHES	FONCTIONS
NIVEAU 1 Couche Physique <i>Physical Layer</i>	La couche physique assure un transfert de bits sur le canal physique (support). À cet effet, elle définit les supports et les moyens d'y accéder : spécifications mécaniques (connecteur), spécifications électriques (niveau de tension), spécifications fonctionnelles des éléments de raccordement nécessaires à l'établissement, au maintien et à la libération de la ligne. Elle détermine aussi les moyens d'adaptation (ETCD ou DCE).
NIVEAU 2 Couche Liaison de données <i>Data Link Layer</i>	La couche liaison assure, sur la ligne, un service de transfert de blocs de données (trames) entre deux systèmes adjacents en assurant le contrôle, l'établissement, le maintien et la libération du lien logique entre les entités. Les protocoles de niveau 2 permettent, en outre, de détecter et de corriger les erreurs de transmissions dues à l'environnement des supports physiques (bruits...).
NIVEAU 3 Couche Réseau <i>Network Layer</i>	La couche réseau assure, lors d'un transfert à travers un système relais, l'acheminement des données (paquets) à travers les différents nœuds d'un sous-réseau (routage). Les protocoles de niveau 3 fournissent les moyens d'assurer l'acheminement de l'appel, le routage, le contrôle de congestion, l'adaptation de la taille des blocs de données aux capacités du sous-réseau physique utilisé. Elle peut offrir un service de facturation de la prestation fournie par le sous-réseau de transport.

COUCHES	FONCTIONS
NIVEAU 4 Couche Transport <i>Transport Layer</i>	La couche transport est la couche pivot du modèle OSI. Elle assure le contrôle du transfert de bout en bout des informations (messages) entre les deux systèmes d'extrémité (ETTD ou DTE). La couche transport est la dernière couche de contrôle des informations, elle doit assurer aux couches supérieures un transfert fiable quelle que soit la qualité du sous-réseau de transport utilisé.
NIVEAU 5 Couche Session <i>Session Layer</i>	La couche session gère l'échange de données (transaction) entre les applications distantes. La fonction essentielle de la couche session est la synchronisation des échanges et la définition de points de reprise.
NIVEAU 6 Couche Présentation <i>Presentation Layer</i>	Interface entre les couches qui assurent l'échange de données et celle qui les manipule, cette couche assure la mise en forme des données, les conversions de code nécessaires pour délivrer à la couche supérieure un message dans une syntaxe compréhensible par celle-ci. En outre, elle peut, éventuellement, réaliser des fonctions spéciales, comme la compression de données...
NIVEAU 7 Couche Application <i>Application Layer</i>	La couche application, dernière du modèle de référence, fournit au programme utilisateur, l'application proprement dite, un ensemble de fonctions (entités d'application) permettant le déroulement correct des programmes communicants (transferts de fichiers, courrier électronique...).

## 2.2 Principes de base d'une architecture en couche

Considérons le modèle simplifié à trois couches représenté figure 2.2.

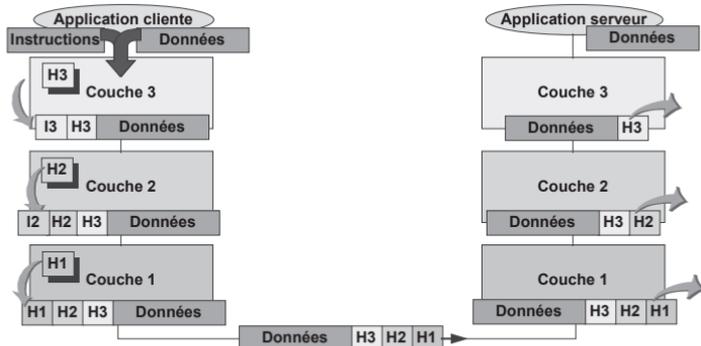


Figure 2.2 Principe général de fonctionnement d'un modèle en couches.