Partie 2 : Notions de base

Olivier GLÜCK
Université LYON 1 / Département Informatique
Olivier.Gluck@univ-lyon1.fr
http://perso.univ-lyon1.fr/olivier.gluck

Copyright

- Copyright © 2025 Olivier Glück; all rights reserved
- Ce support de cours est soumis aux droits d'auteur et n'est donc pas dans le domaine public. Sa reproduction est cependant autorisée à condition de respecter les conditions suivantes :
  - Si ce document est reproduit pour les besoins personnels du reproducteur, toute forme de reproduction (totale ou partielle) est autorisée à la condition de citer l'auteur.
  - Si ce document est reproduit dans le but d'être distribué à des tierces personnes, il devra être reproduit dans son intégralité sans aucune modification. Cette notice de copyright devra donc être présente. De plus, il ne devra pas être vendu.
  - Cependant, dans le seul cas d'un enseignement gratuit, une participation aux frais de reproduction pourra être demandée, mais elle ne pourra être supérieure au prix du papier et de l'encre composant le document.
  - Toute reproduction sortant du cadre précisé ci-dessus est interdite sans accord préalable écrit de l'auteur.

Remerciements

- Certains transparents sont basés sur des supports de cours de :
  - Danièle DROMARD (PARIS 6)
  - Andrzej DUDA (INP Grenoble/ENSIMAG)
  - Shivkumar KALYANARAMAN (RPI/ECSE)
  - Alain MILLE (LYON 1)
  - CongDuc PHAM (LYON 1)
  - Michel RIVEILL (Université de Nice/ESSI)
  - L'Institut National des Télécommunications (INT)
  - Cisco Networking Acadamy
- Des figures sont issues des livres cités en bibliographie

Bibliographie

- « *Réseaux* », 4ième édition, Andrew Tanenbaum, Pearson Education, ISBN 2-7440-7001-7
- « *Réseaux et Télécoms* », Claude Servin, Dunod, ISBN 2-10-007986-7
- « *Analyse structurée des réseaux* », 2ième édition, J. Kurose et K. Ross, Pearson Education, ISBN 2-7440-7000-9
- « *TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols* », W. R. Stevens, Addison Wesley, ISBN 0-201-63346-9
- « *TCP/IP, Architecture, protocoles, applications* », 4ième édition, D. Comer, Dunod, ISBN 2-10-008181-0
- « *An Engineering Approach to Computer Networking* », Addison-Wesley, ISBN 0-201-63442-6

Bibliographie

- Internet…
  - http://www.guill.net/
  - http://www.courseforge.org/courses/
  - http://www.commentcamarche.net/ccmdoc/
  - http://www.protocols.com/
  - http://dir.yahoo.com/Computers_and_Internet/
  - http://www.rfc-editor.org/ (documents normatifs dans TCP/IP)

Plan de la partie 2

- Quelques éléments sur la transmission de l'information
  - L'information et sa représentation
  - Les techniques de transmission
  - Modélisation d'un canal de transmission
  - Les supports de transmission
  - Les modes de transmission
  - Les différentes topologies
- Les architectures protocolaires
  - Architecture en couches et encapsulation
  - Le modèle de référence (OSI)
  - Le modèle TCP/IP

Quelques éléments sur la transmission de l'information

L'information et sa représentation

Les techniques de transmission

Modélisation d'un canal de transmission

Les supports de transmission

Les modes de transmission

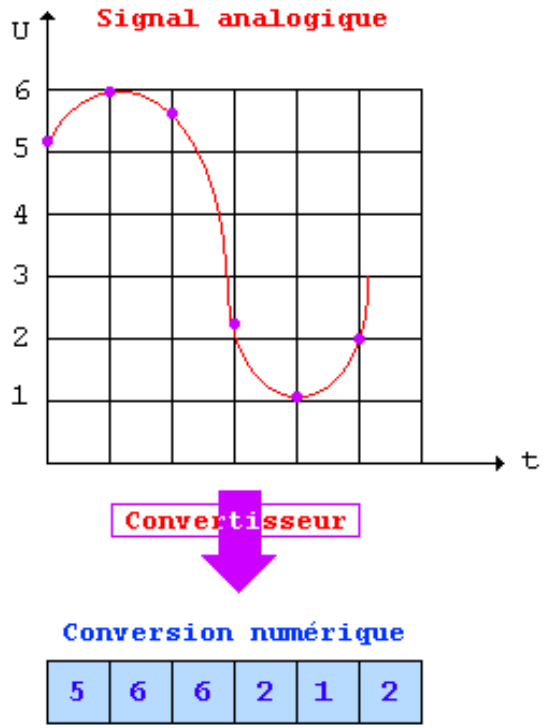
Les différentes topologies

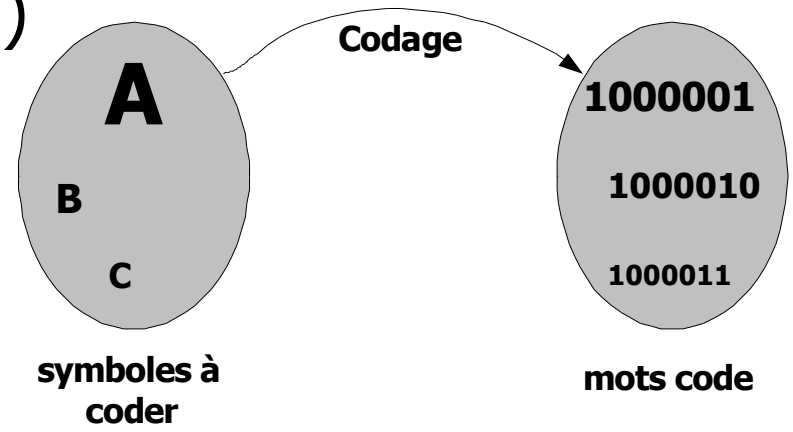
Deux types d'information

- Données continues
  - données continues résultant de la variation continue d'un phénomène physique (voix, température, image, lumière, …)
  - infinités de valeurs dans un intervalle borné
  - un capteur fournit une tension électrique proportionnelle à l'amplitude du phénomène
- Données discrètes
  - suite discontinue de valeurs dénombrables
  - un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires)

Traitement informatique

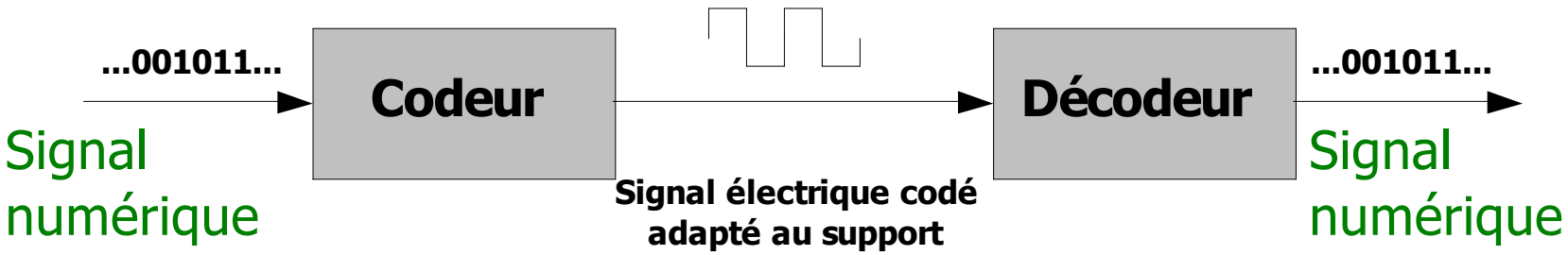
- Il faut associer une valeur binaire à chaque élément d'information
  - numérisation de l'information pour des données continues (échantillonnage)
  - codage de l'information pour des données discrètes (code Baudot, code ASCII, …)





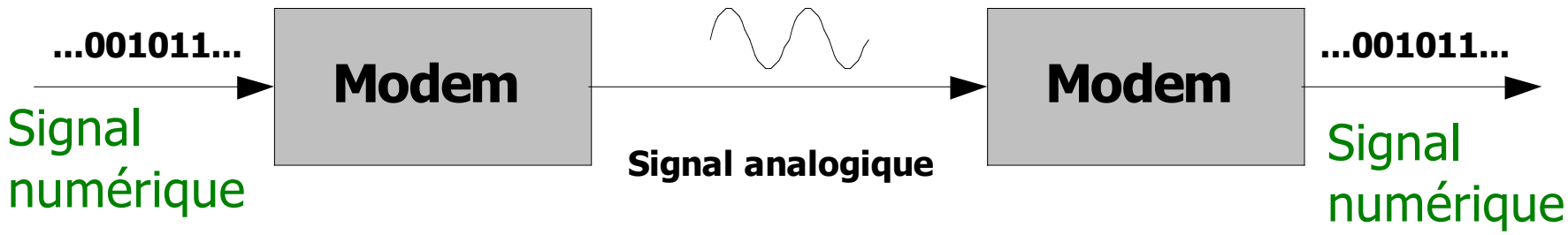
Du binaire à la transmission … (1)

- Transmission en bande de base
  - les bits sont directement représentés par des valeurs de tensions
  - simplicité du codage mais distances limitées à quelques kilomètres (bande passante, rapidité de modulation, rapport signal/bruit du canal)
  - occupe toute la bande passante (pas de multiplexage)
  - code NRZ, code Manchester, code Miller, …

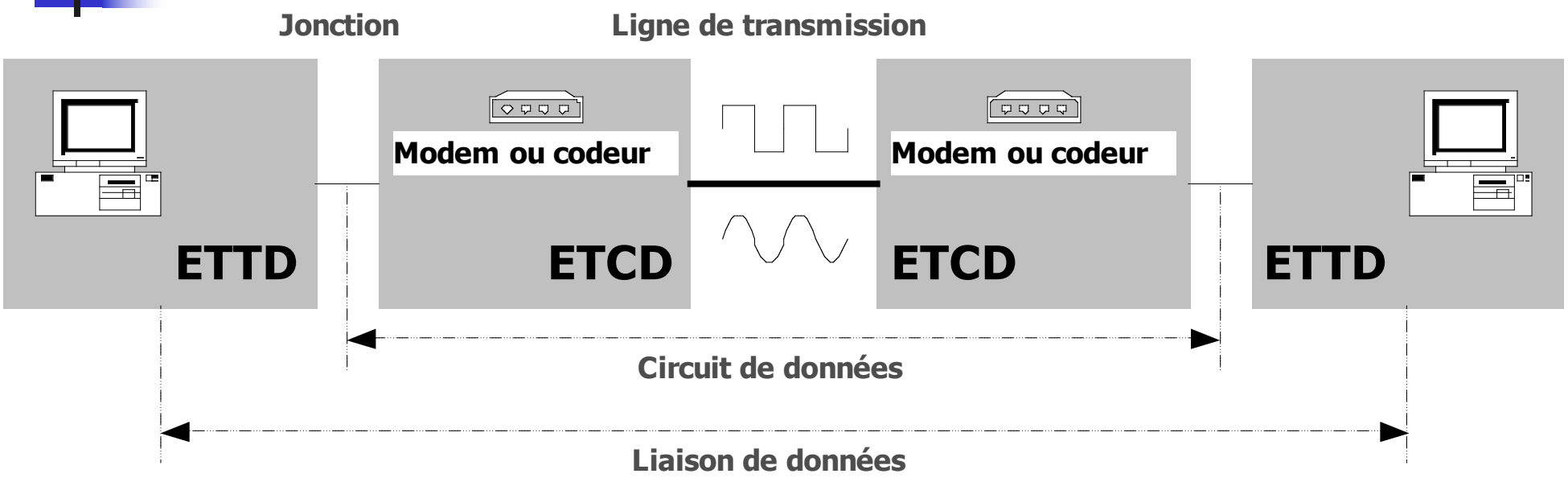


Du binaire à la transmission … (2)

- Transmission large bande ou par modulation
  - utilise les théories de Fourier sur la décomposition d'un signal périodique
  - adaptée aux longues distances (transposition dans un domaine de fréquences adapté au support, protection du bruit)
  - résout le problème du multiplexage

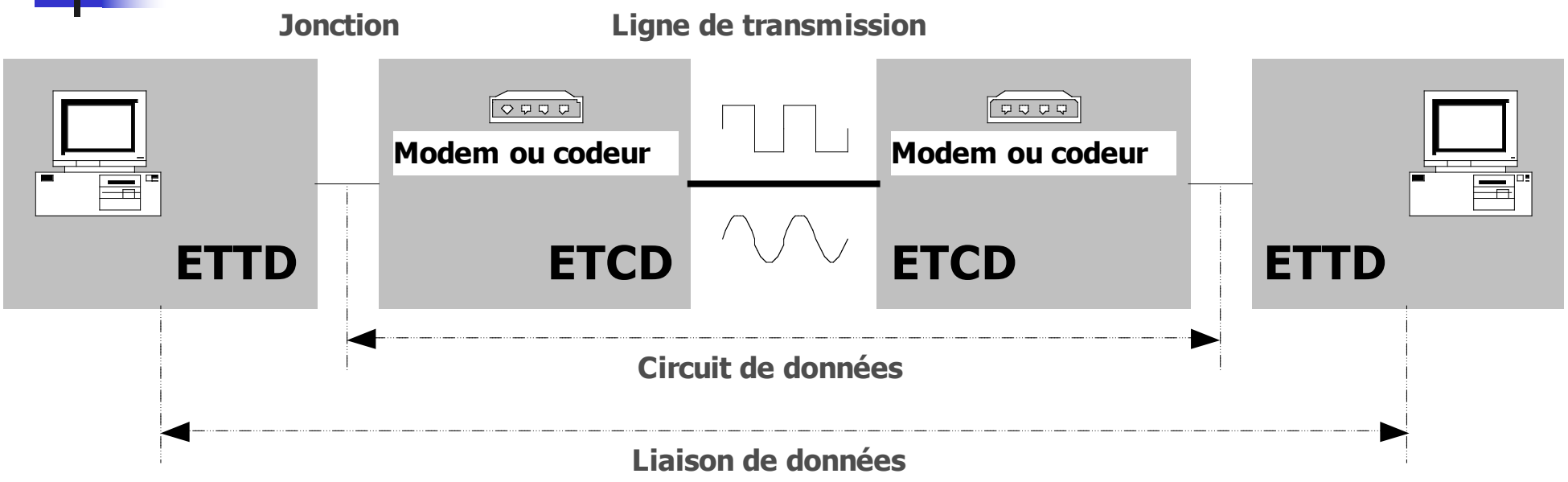


Modèle général d' un canal de transmissior



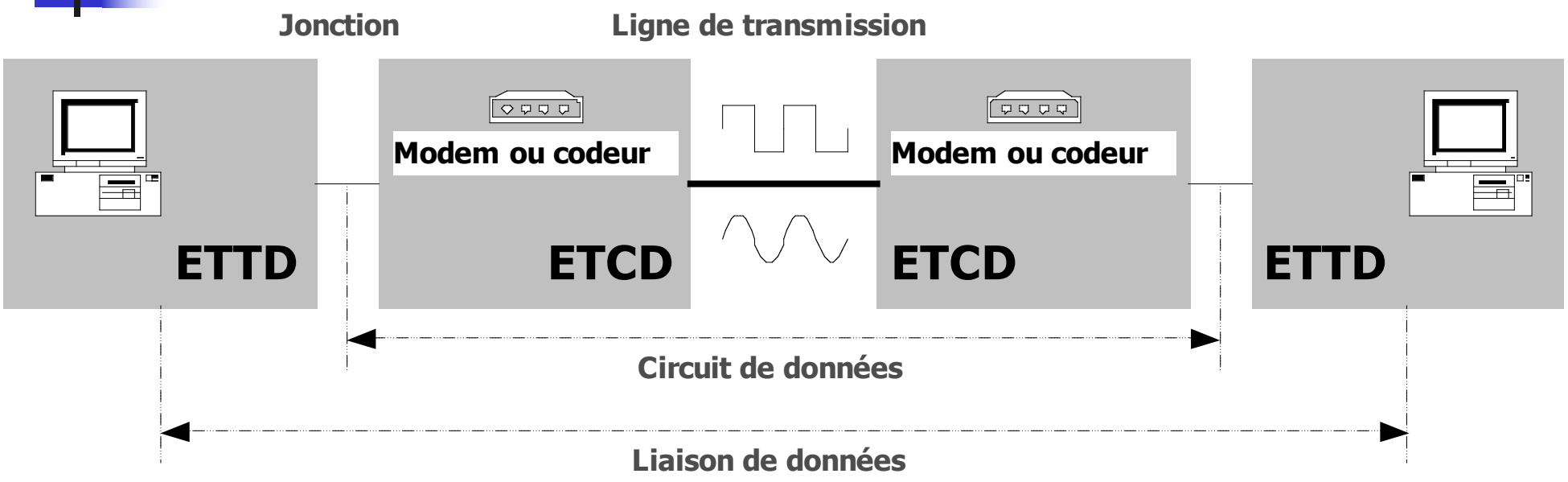
- ETTD - DTE (*Data Terminal Equipement*)
  - Equipement Terminal de Traitement de Données
  - contrôle de la communication
  - source/collecteur des données

Modèle général d' un canal de transmissior



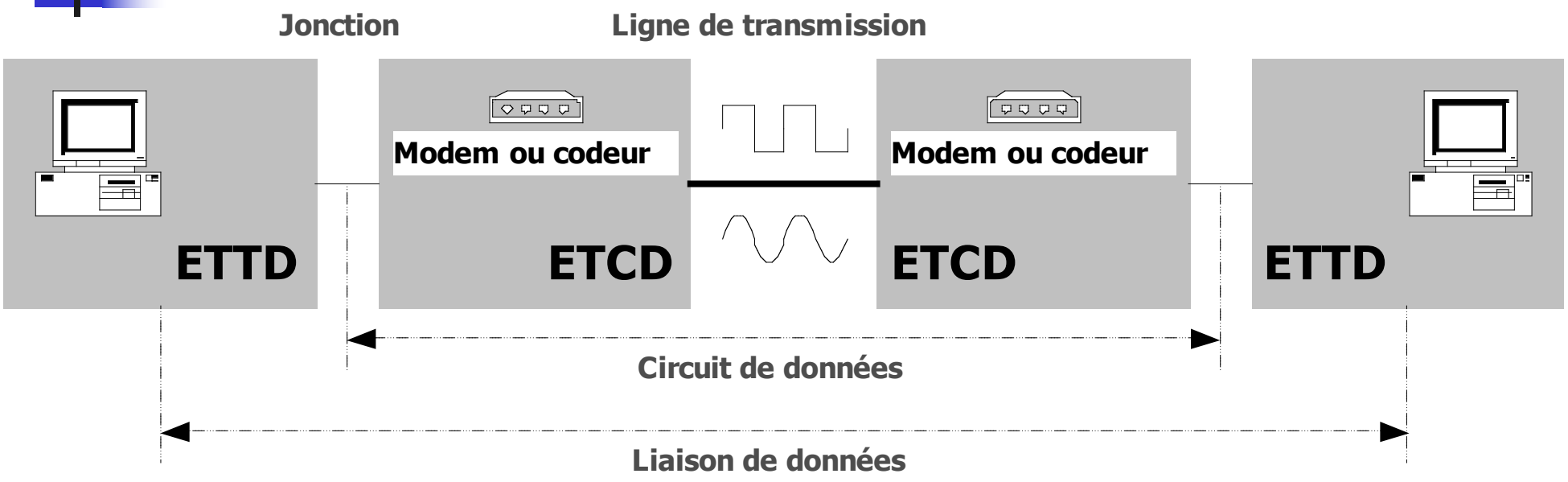
- ETCD - DCE (*Data Communication Equipement*)
  - Equipement Terminal de Circuit de Données
  - adaptation entre le terminal et le support
  - fournit au support un signal adapté à ses caractéristiques
  - modifie la nature du signal mais pas sa signification

Modèle général d' un canal de transmissior



- Jonction ou interface :
  - permet à l' ETTD de piloter l' ETCD pour établissement et libération du circuit, échange de données, …
  - utilise un signal numérique

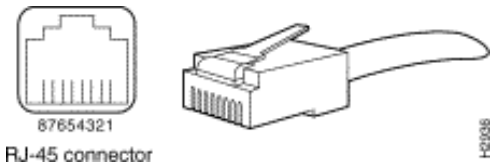
Modèle général d'un canal de transmissior



- Support ou ligne de transmission :
  - caractéristiques physiques (débit, taux d'erreurs, …)
  - transmission d'une onde lumineuse, acoustique, électromagnétique ou électrique : supports optiques, aériens, filaires

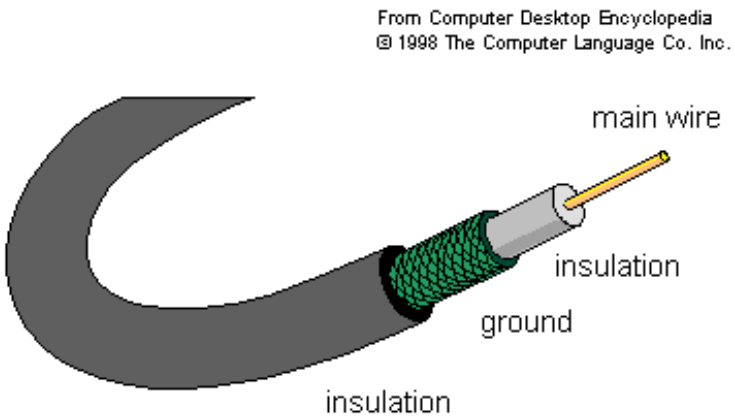
Les supports de transmission (1)

- paire torsadée : téléphonie, LAN
  - large infrastructure existante
  - débit limité (centaine de Mbits/s)



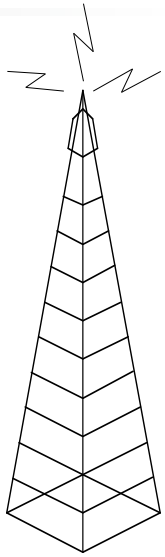
4 paires de fils

- câble coaxial : TV, LAN, (MAN ?)
  - plus coûteux, meilleurs débits (1 à 2 Gbits/s sur 1km)
  - meilleure protection contre les interférences

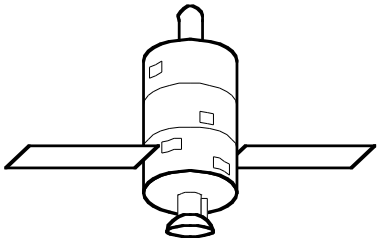


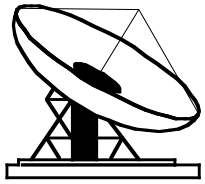
- fibre optique : LAN, MAN, WAN
  - de moins en moins coûteuse
  - 30km sans répéteur, fiabilité
  - très haut-débit (50000 Gbits/s en théorie)

Les supports de transmission (2)



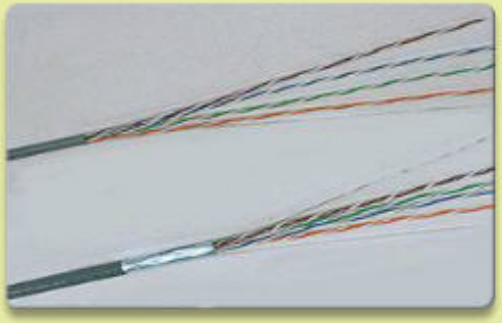
- faisceaux hertziens : MAN, LAN
  - infrastructure peu coûteuse
  - erreurs fréquentes et dépendantes des conditions climatiques
- satellites : WAN
  - répéteurs dans le ciel
  - grande couverture géographique
  - bande passante élevée
  - délais élevés (250 à 300 ms de latence)
  - coût élevé par équipement





Les supports de transmission (3)

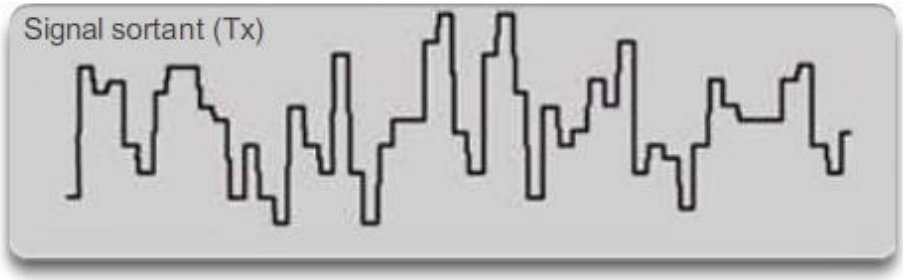
Cuivre



Fibre optique

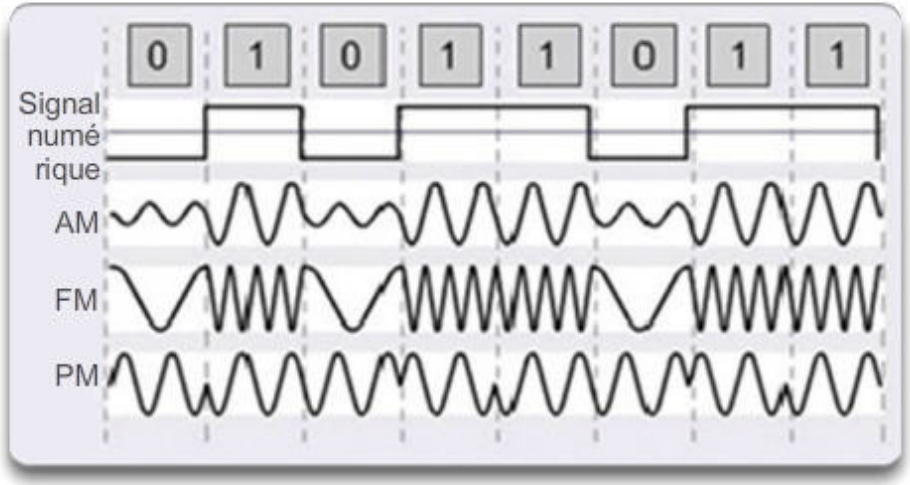
Sans fil

Les supports de transmission (4)



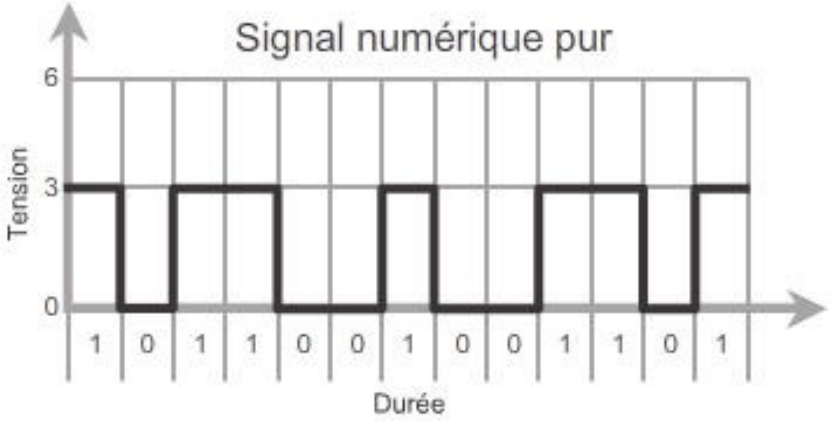
Signaux électriques -
câble en cuivre

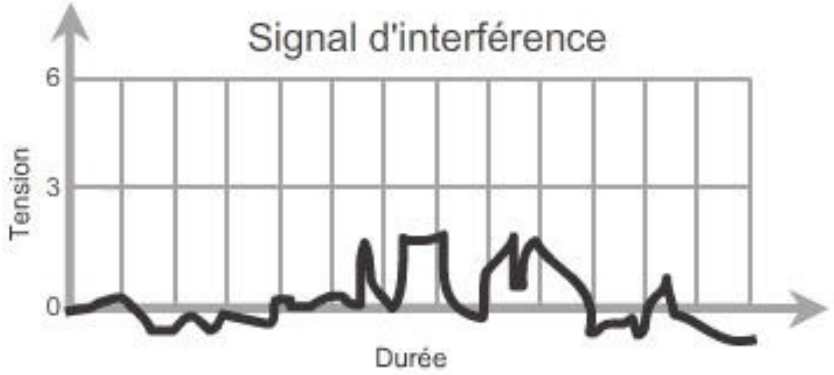
Impulsion lumineuse -
câble à fibre optique



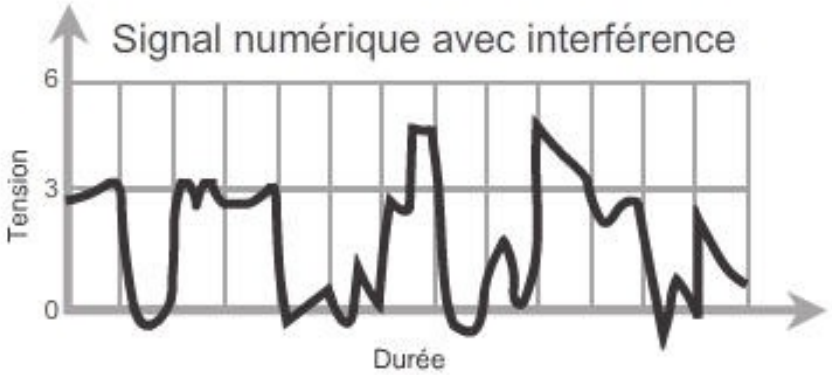
Signaux hyperfréquence -
sans fil

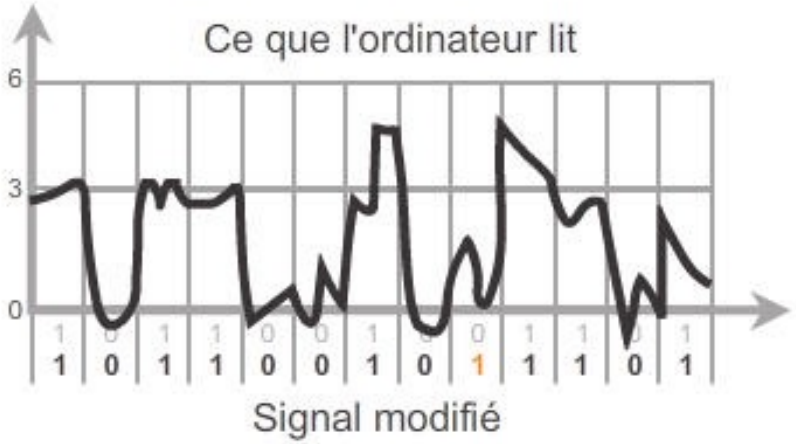
Les supports de transmission (5)



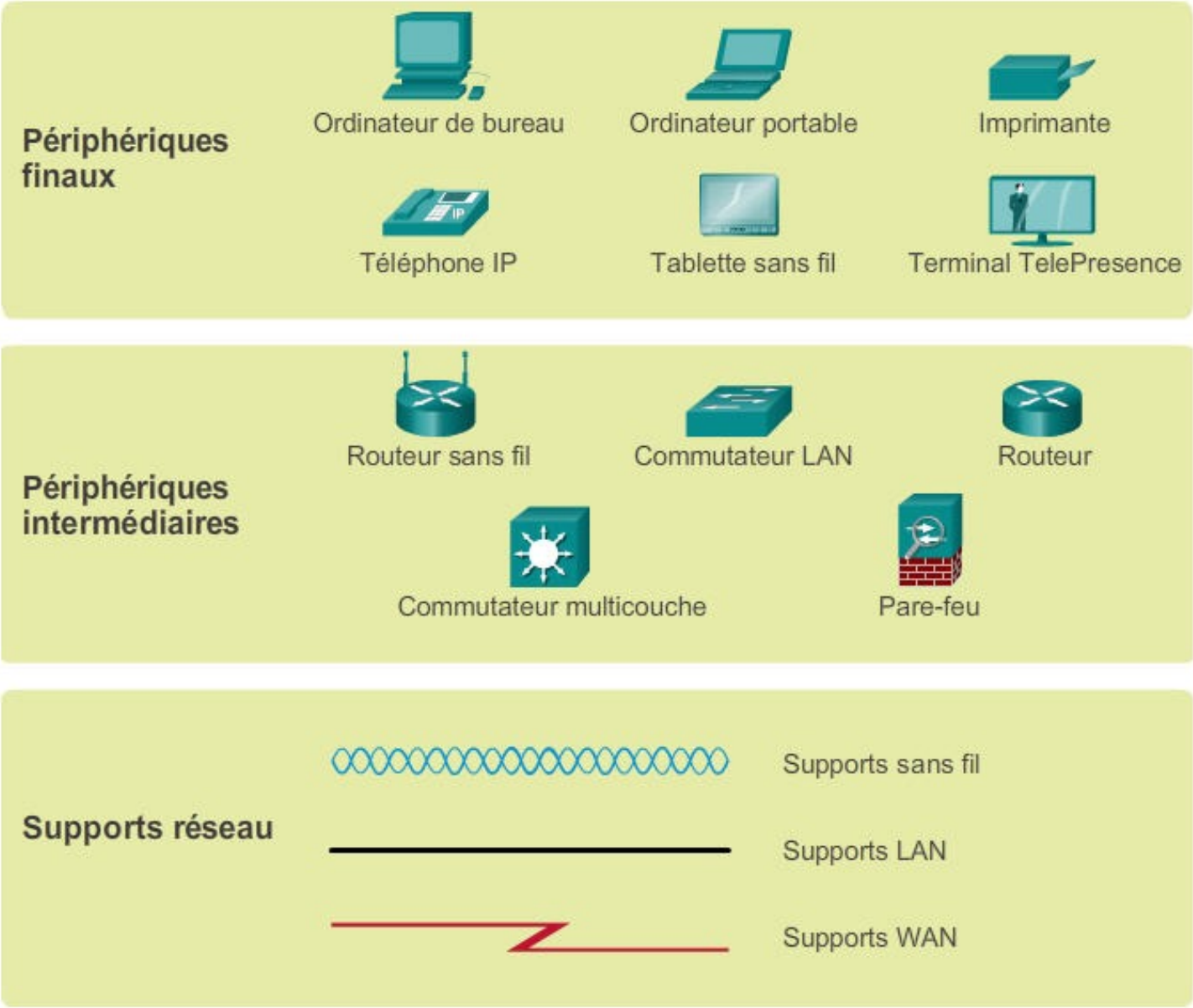


Exemple d'interférences sur un support cuivre





Les composants d'un réseau



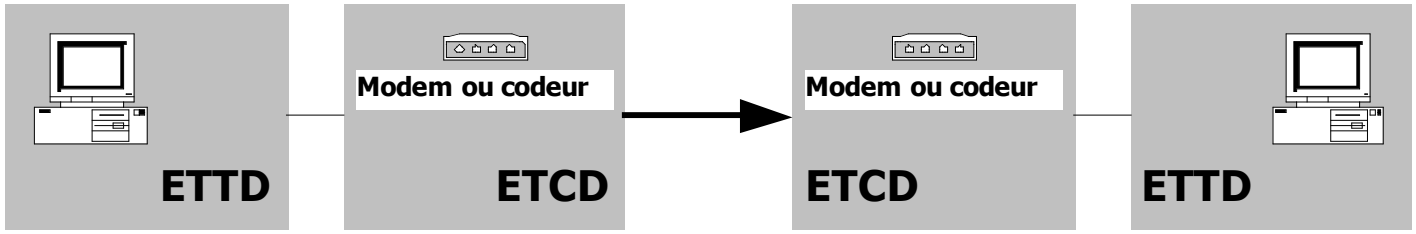
Notion de qualité de service

- 3 paramètres
  - débit (volume)
  - latence (temps de transfert et variation de celui-ci)
  - fiabilité (taux d'erreurs)
- Chaque flux de données a ses propres contraintes
  - voix, vidéo : débit constant
  - transfert de fichiers : fiabilité et débit élevés
- Le réseau de transport doit s'adapter !
  - Choix du « meilleur » chemin
  - Correction des erreurs, …

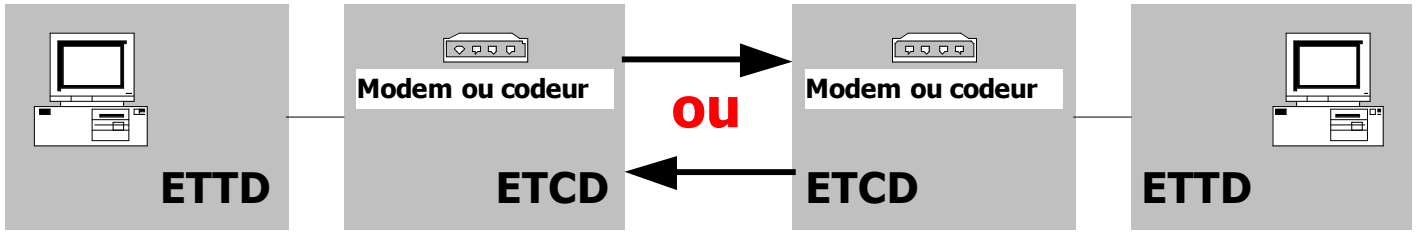
Les modes de transmission

- L' organisation des échanges

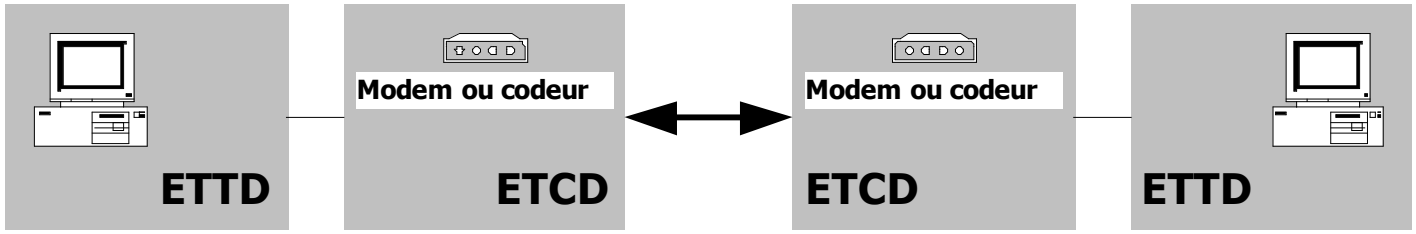
Liaison simplex



Liaison half duplex (à l'alternat)



Liaison full duplex



Les modes de transmission

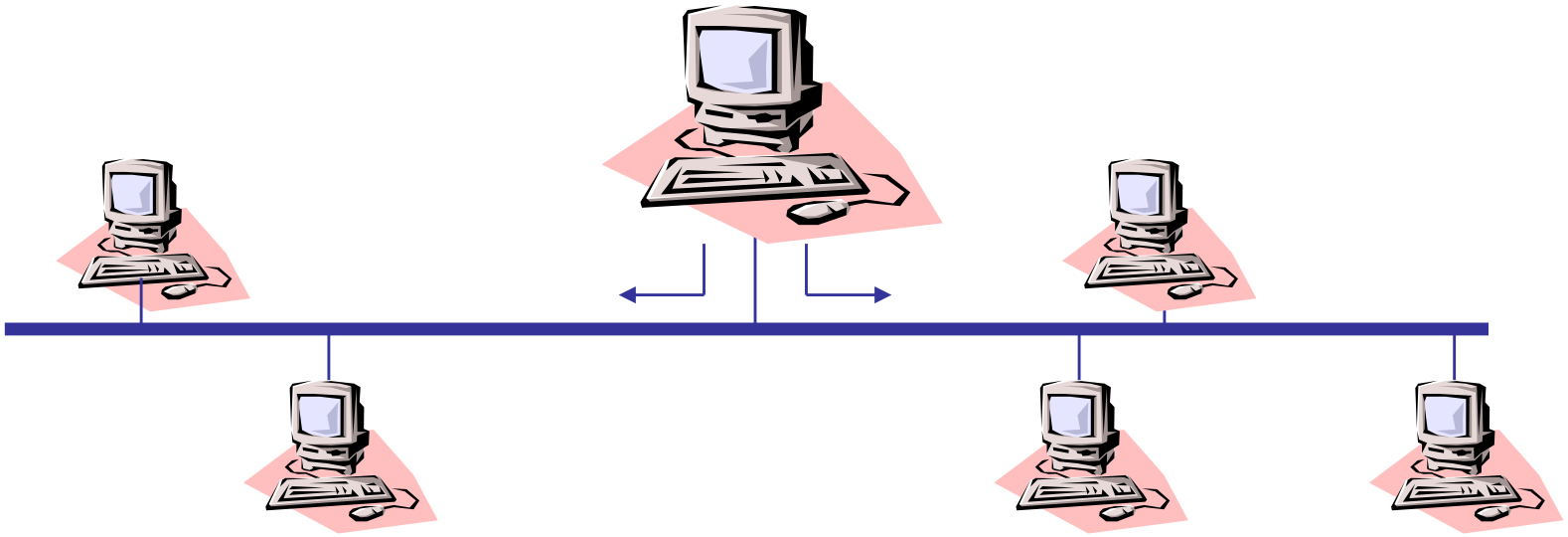
- Le mode de liaison
  - liaison point à point
  - liaisons multi-points
    - le support est partagé par plusieurs terminaux
    - politiques d'accès au support
      - le mode maître/esclave (*polling/selecting*)
      - le mode d'égal à égal (réseaux locaux)
- Transmission parallèle/série
  - transfert simultané de tous les bits d'un mot
  - transfert successif de chacun des bits d'un mot
- Transmission synchrone/asynchrone
  - les horloges sont synchronisées
  - les horloges dérivent (bit de start/stop)

Les différentes topologies

- Topologie horizontale (en bus)
- Topologie en étoile
- Topologie en anneau
- Topologie maillée
- Topologie hiérarchique à 2 niveaux

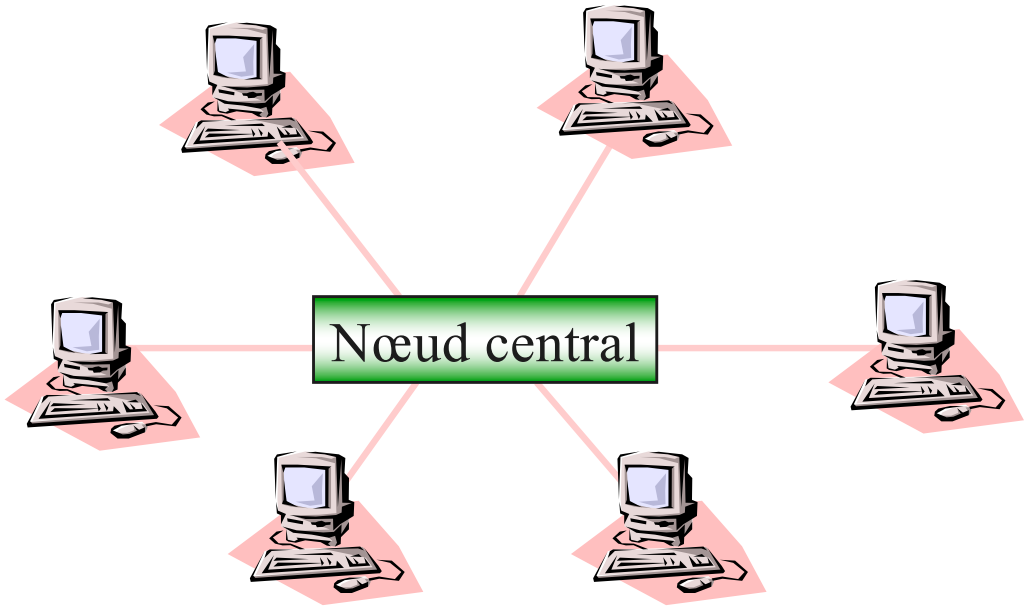
Topologie horizontale (Bus)

- Tout le monde parle à tout le monde



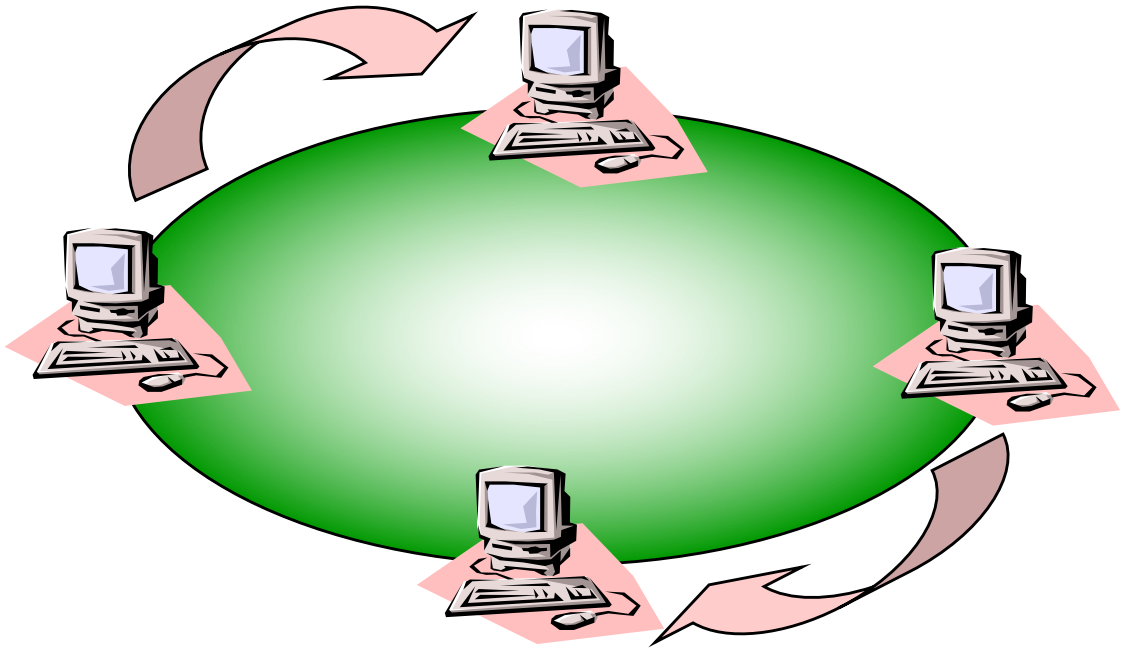
Topologie en étoile

- Un nœud central émule *n* liaisons point à point



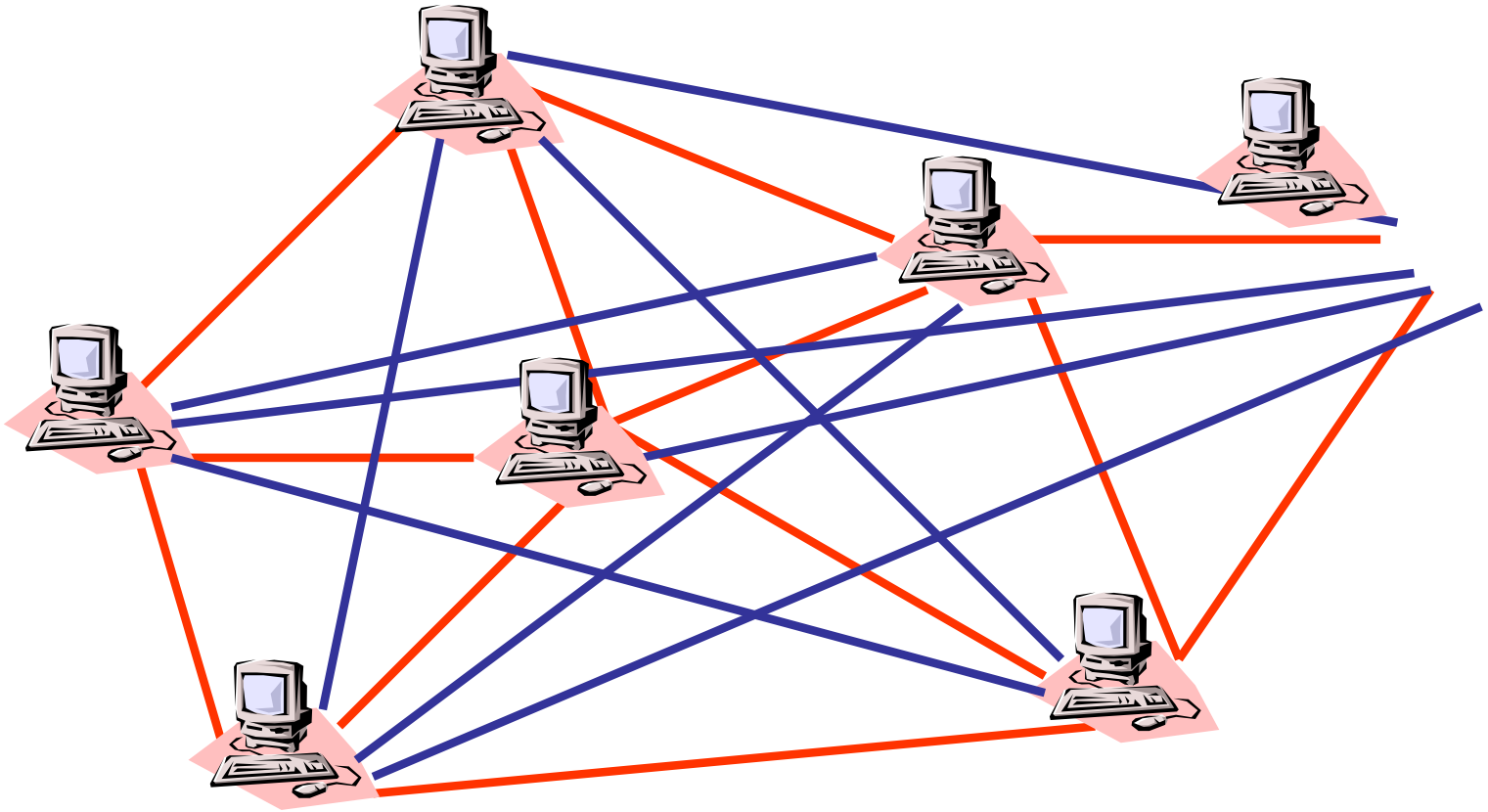
Topologie en anneau

- Adaptée aux longues distances
- Permet des débits élevés



Topologie maillée

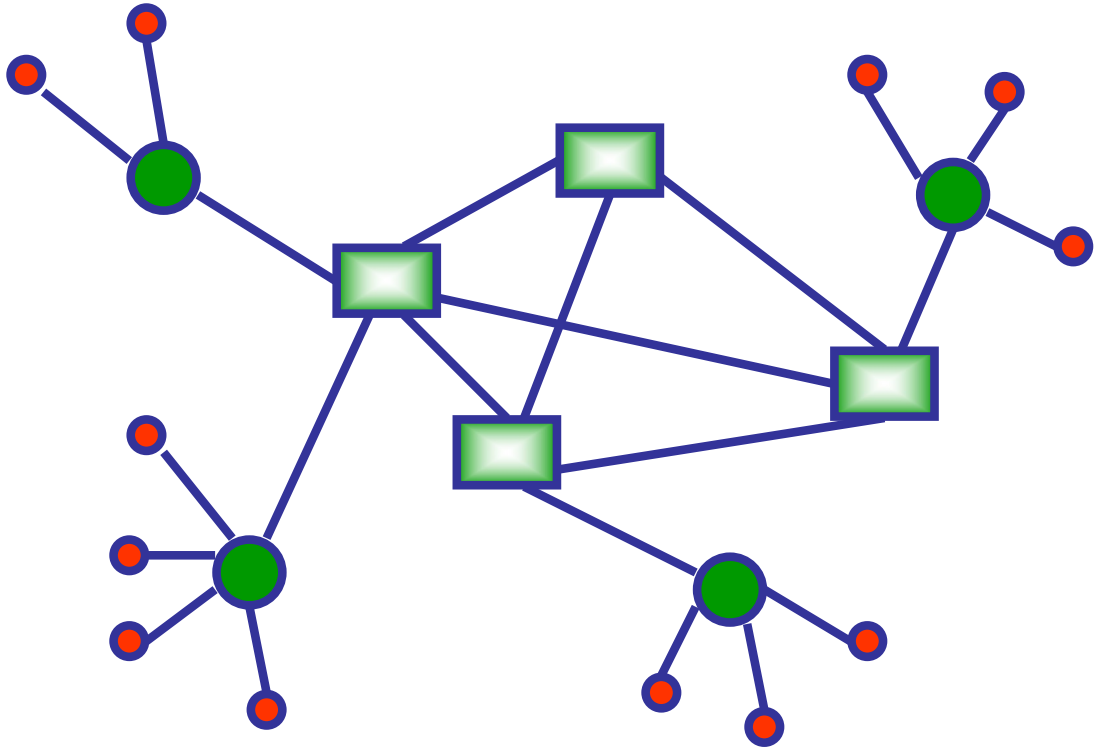
- Plusieurs chemins pour aller d' un nœud à un autre



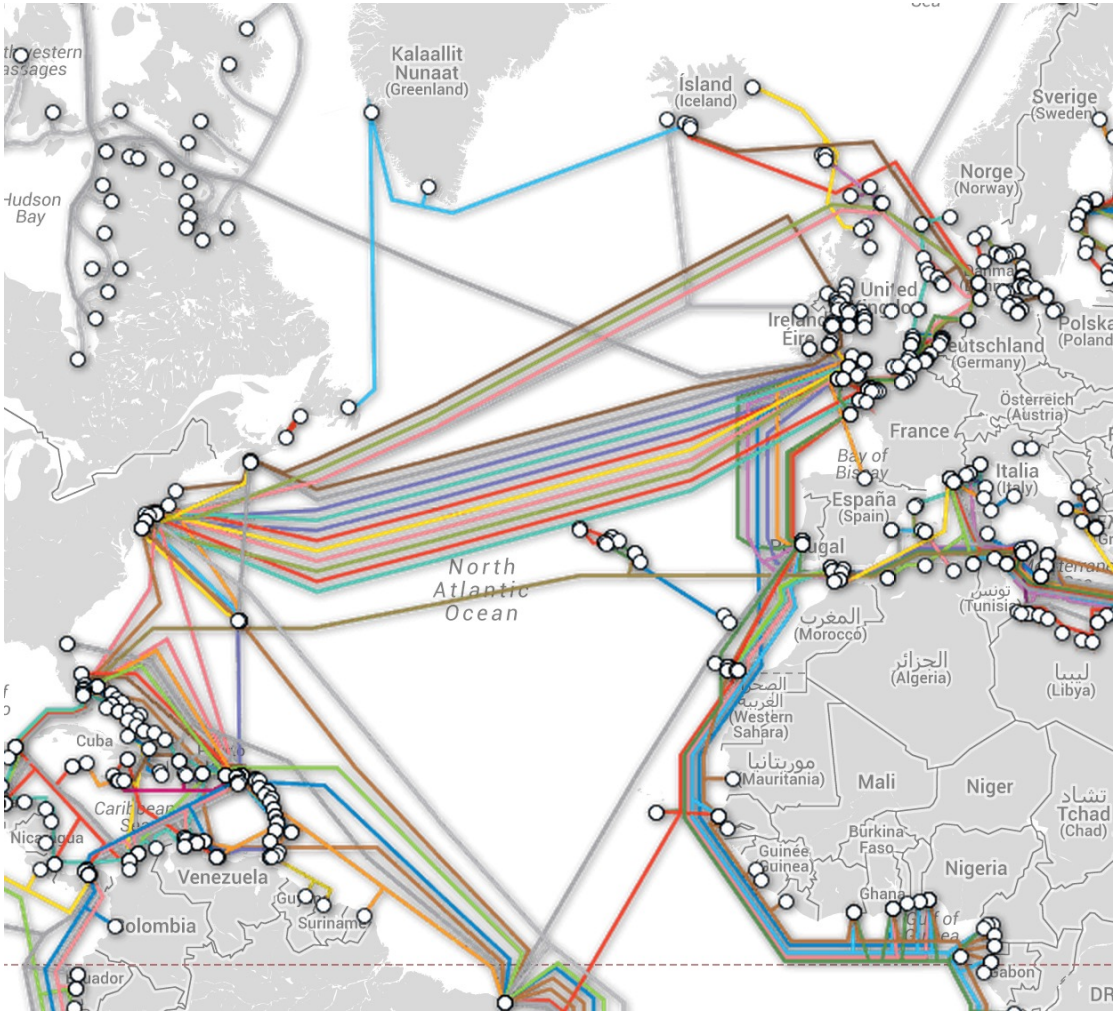
Exemple de 7 sites entièrement maillés 2 à 2.

Topologie hiérarchique (2 niveaux)

- Mélange de la topologie maillée (au cœur) et de la topologie étoile (aux extrémités)
  - → **Réduction du nombre de liaisons**
  - → **Meilleure utilisation des ressources**



Les liaisons sous-marines



Submarine Cable List

Apollo

Email link

RFS: February 2003

Cable Length: 13,000 km

Owners: Alcatel-Lucent, Vodafone

URL: http://www.apollo-scs.com

Landing Points

Bude, United Kingdom

Lannion, France

Manasquan, New Jersey, United States

Shirley, New York, United States

Source http://www.submarinecablemap.com/

Les architectures protocolaires

Architecture en couches et encapsulation

Le modèle de référence (OSI)

Le modèle TCP/IP

« Architecture protocolaire réseau »

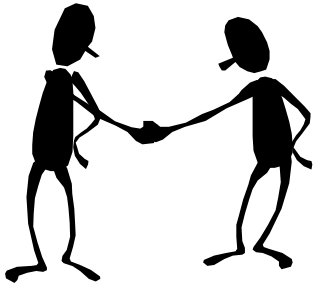
- Architecture protocolaire réseau : un modèle complet de communication
- Historiquement, une architecture par constructeur
  - SNA (*System Network Architecture*) d'IBM
  - DSA (*Distributed System Architecture*) de BULL
- Besoin d'un modèle normalisé
  - complexité croissante des besoins utilisateur
  - diversité des solutions adoptées
  - incompatibilité des architectures constructeurs entre elles
  - nécessité de transparence pour l'utilisateur
- -> **modèle de référence** ou **modèle OSI** (*Open System Interconnection*) définit par l'ISO (*International Standardization Organization*)

« … protocolaire … »

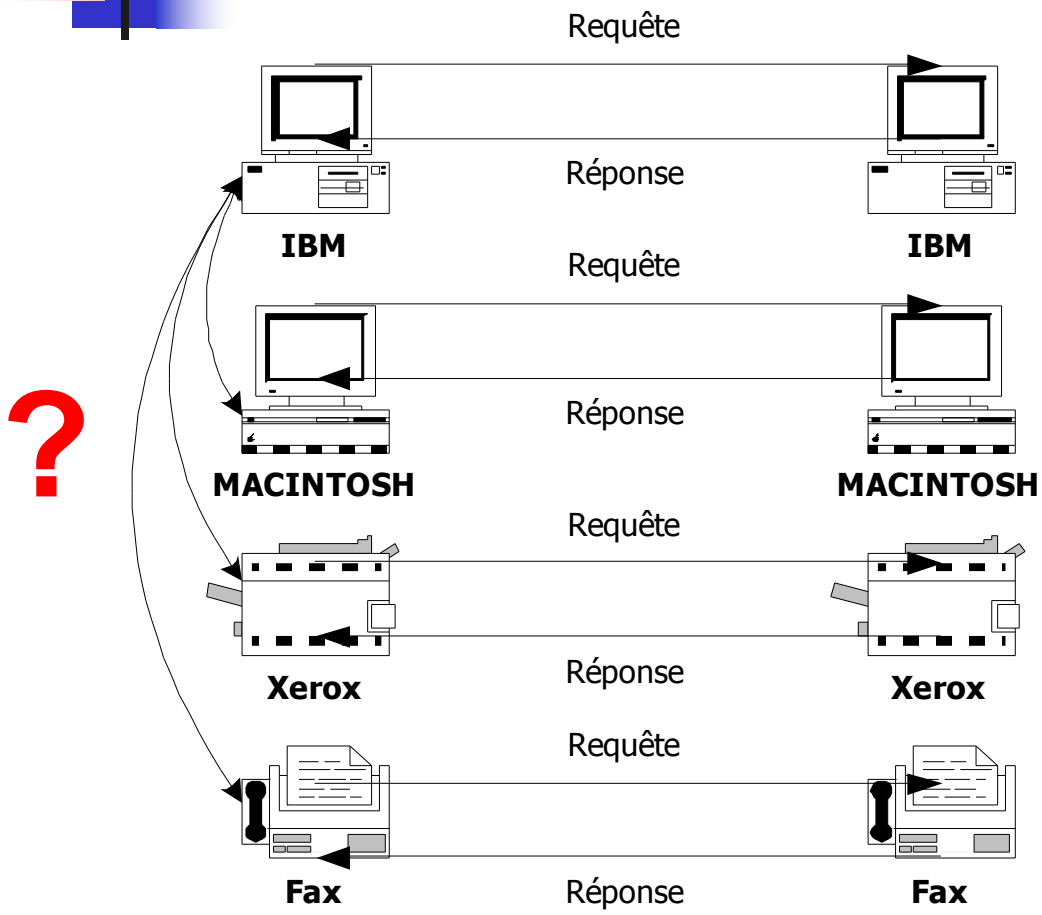
- L'échange d'information se fait selon un protocole : ensemble de règles compréhensibles par les entités communicantes
- Il y a des protocoles pour :
  - les applications
  - transporter/router l'information
  - émettre de l'information sur un support physique
- Ils doivent gérer en particulier :
  - les erreurs
  - la fragmentation et l'assemblage des données
- Ils sont généralement normalisés pour assurer l'interopérabilité et la transparence

Protocole

- Qu'est-ce qu'un protocole ?
  - Une implémentation d'un certain service
  - Un accord entre les deux parties sur la manière de communiquer
  - Définition des règles & des formats de données
  - Règles sans ambiguïté pour pouvoir être traduites par des logiciels ou des automates câblés



Besoin de transparence …



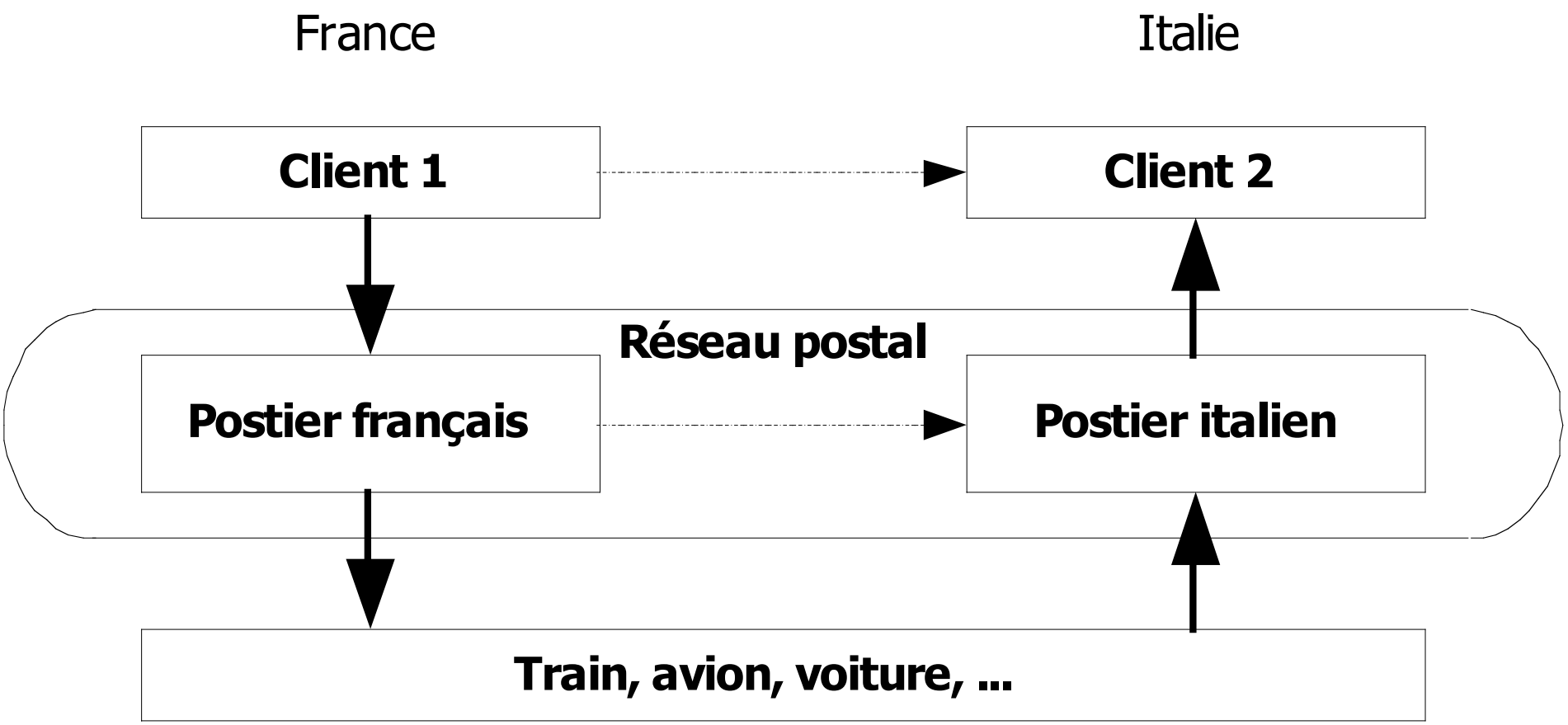
-> protocoles normalisés
-> architecture en **couches**

- … à différents niveaux :
  - les services applicatifs
  - les protocoles d'échange
  - la sémantique de l'information
  - les techniques de connexion

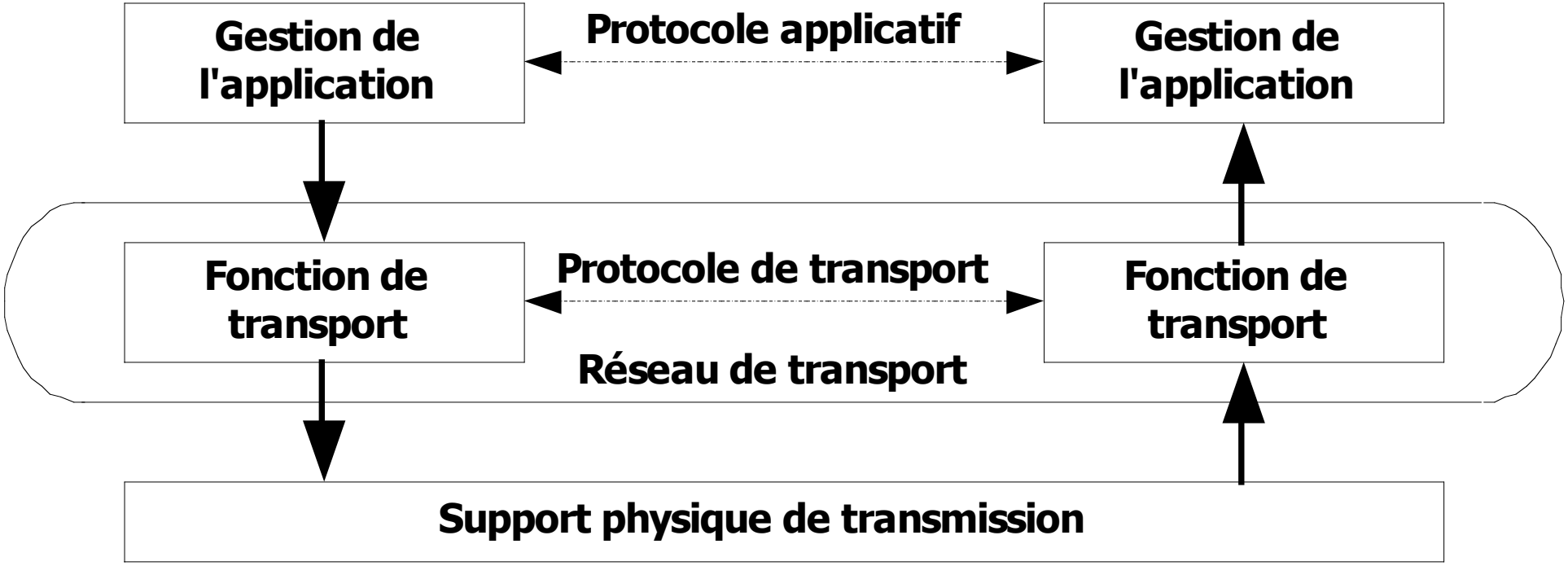
Architecture en couches

- « **une couche** » : un ensemble homogène destiné à accomplir une tâche ou à rendre un service
- Le découpage en couches permet de
  - dissocier des problèmes de natures différentes
    - HTTP/TCP/IP peut utiliser DNS, ARP, DHCP, RIP, OSPF, BGP, PPP, ICMP …
  - rendre évolutive l'architecture : une nouvelle technologie ne remet en cause que la couche concernée
  - masquer les détails d'implémentation : une couche fournie certains services
  - faire de la réutilisation de service
    - sockets, DNS, …

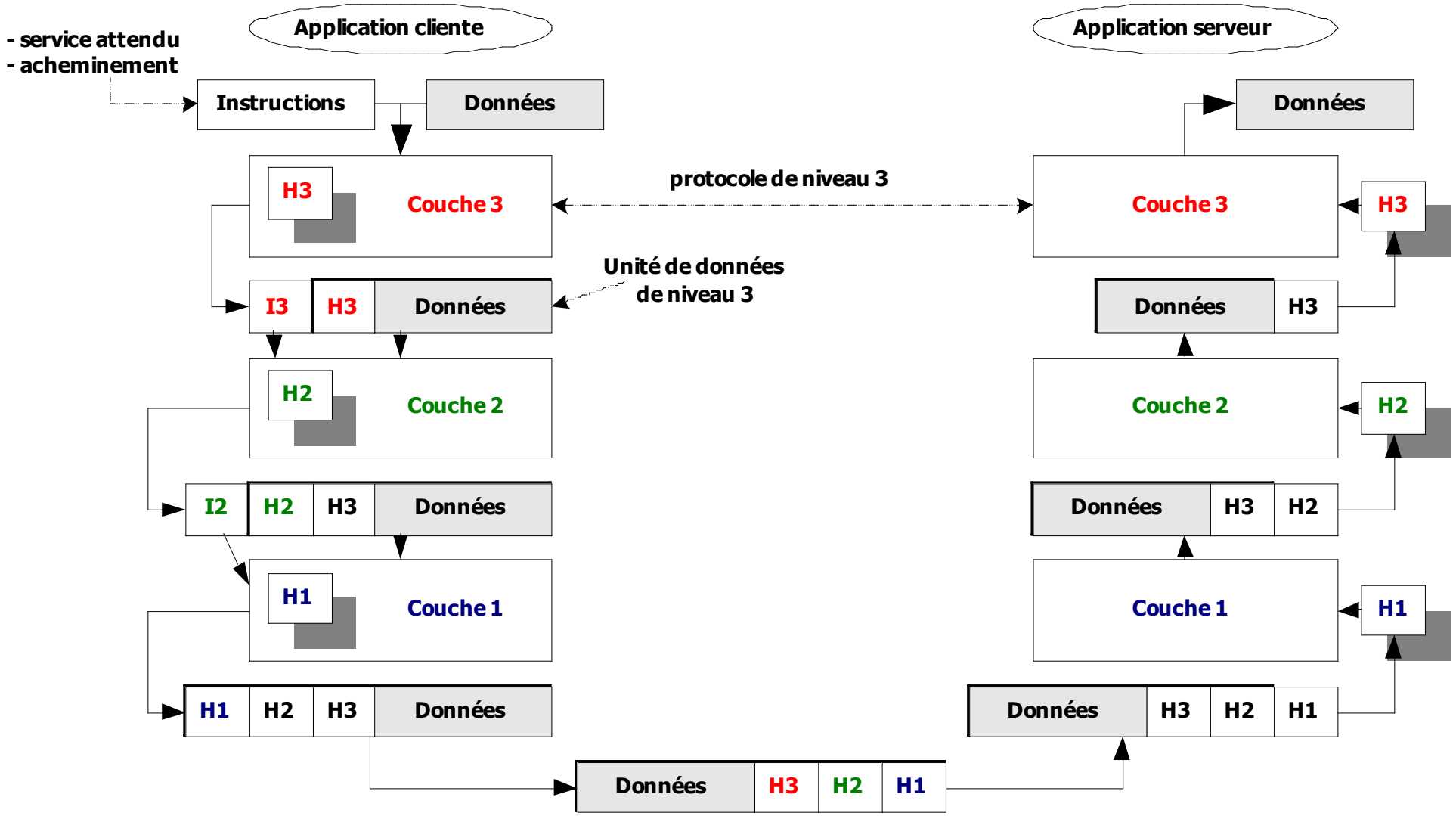
Exemple 1 : le courrier postal



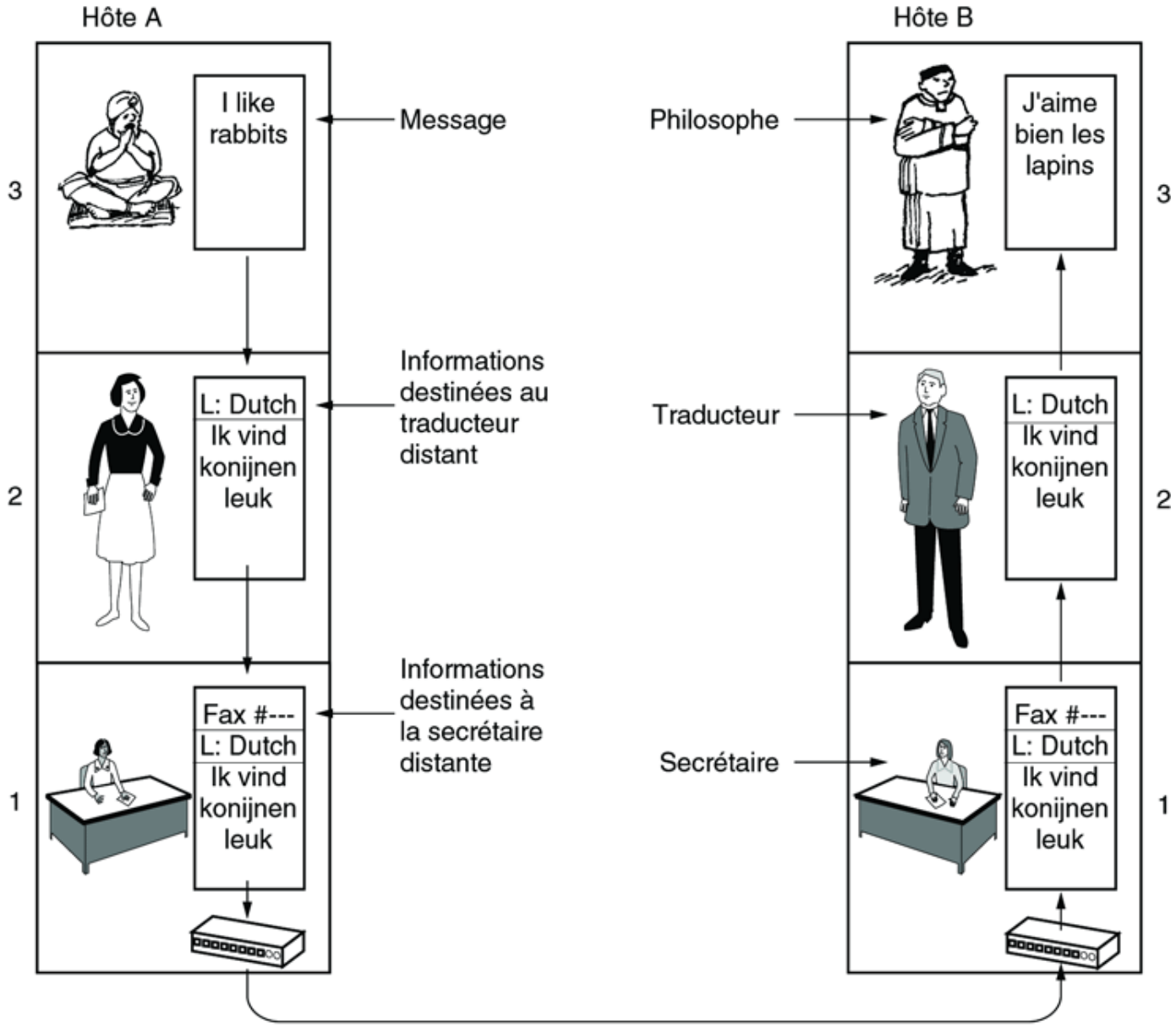
Un modèle simplifié à 3 couches



Principe d' une architecture en couches



Encore un exemple



© Pearson Education France

Protocole et service (1)

- 2 types de dialogue :
  - dialogue vertical à l'aide de **primitives de service**
    - request, send, sonnerie de téléphone, décrocher, raccrocher, poster une lettre
  - dialogue horizontal entre **couches homologues** à l'aide du **protocole de niveau N**
- Service : fonctionnalité offerte par le réseau
    - communication fiable de bout en bout, chiffrement des données, envoi lettre recommandée avec accusé de réception
- Protocole : implémentation d'un service (format des paquets, échanges des messages, …)
    - dire « ALLO » et « AU REVOIR », manière de décrocher ou raccrocher, faire signer le destinataire avec pièce d'identité…

Protocole et service (2)

- La couche N+1 demande un service à la couche N à l'aide d'une primitive de service de niveau N
- Les données de la couche N+1 sont encapsulées dans une unité de données de niveau N (en-tête couche N+1 et données N+1)
  - l'en-tête contient les infos nécessaires au traitement distant sur la couche homologue (identifiant du service, adresse du destinataire, compteurs de contrôle de l'échange, …)
- La couche N rend le service de niveau N à la couche N+1 à l'aide du protocole de niveau N

Exemple de protocole

- Echange d'un fichier sur un réseau sans perte, FIFO, qui corrompt certains paquets
- Le service : fournir un transfert fiable de fichier
- Un protocole simple :
  - envoyer le fichier en une succession de paquets
  - envoyer un « *checksum* » pour chaque paquet
  - contrôler le *checksum* sur le récepteur et renvoyer un message OK ou Not-OK à l'émetteur
  - l'émetteur attend le OK ou Not-OK avant de demander le transfert du paquet suivant
  - l'émetteur attend le dernier message OK avant de clore la connexion
  - si Not-OK pour un paquet, re-transférer le paquet
- Ce protocole a besoin d'un protocole de transfert de paquets : comment transférer un paquet ?

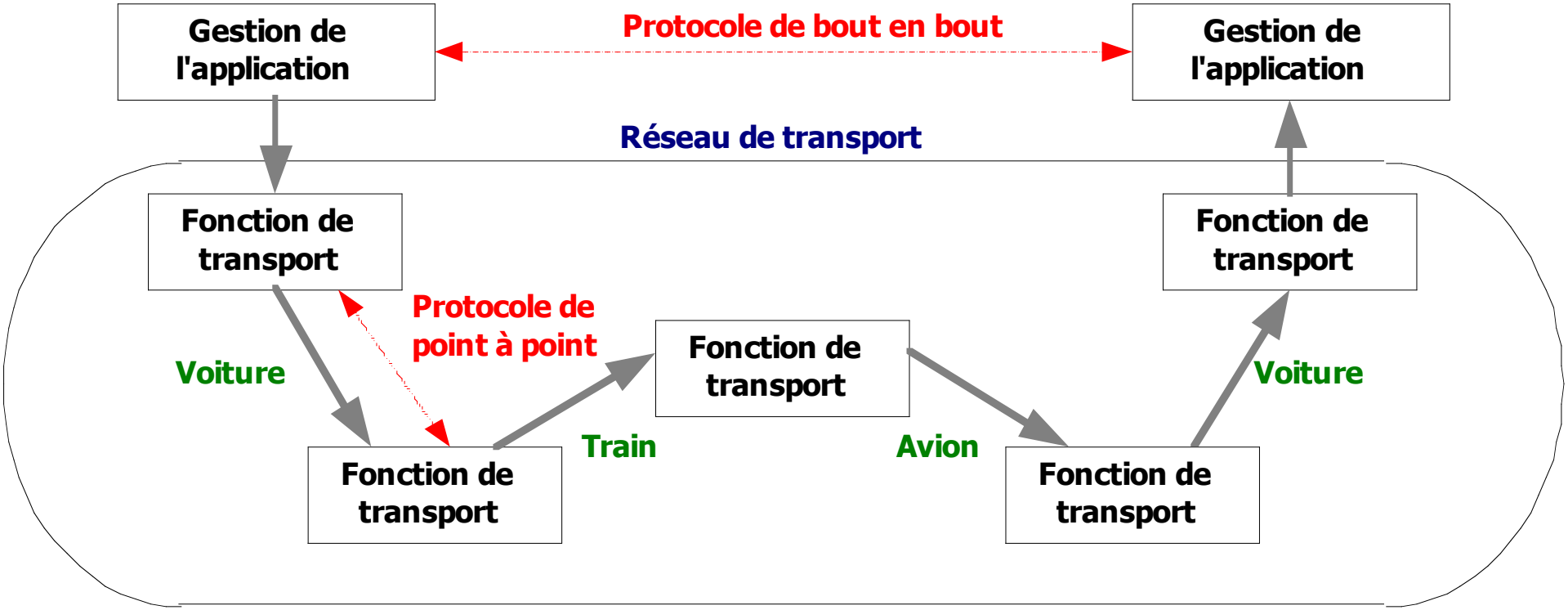
  -> architecture en couches

Un protocole doit spécifier …

- La syntaxe de chaque message
  - que contient-il ?
  - format des en-têtes ?
- La sémantique de chaque message
  - que signifie tel message ?
  - un message « Not-OK » veut dire que le récepteur a un morceau du fichier qui est erroné
- Les actions à entreprendre lors de la réception d'un message
  - retransmettre le bon paquet en cas de réception d'un message « Not-OK »

Protocole bout-en-bout/point-à-point

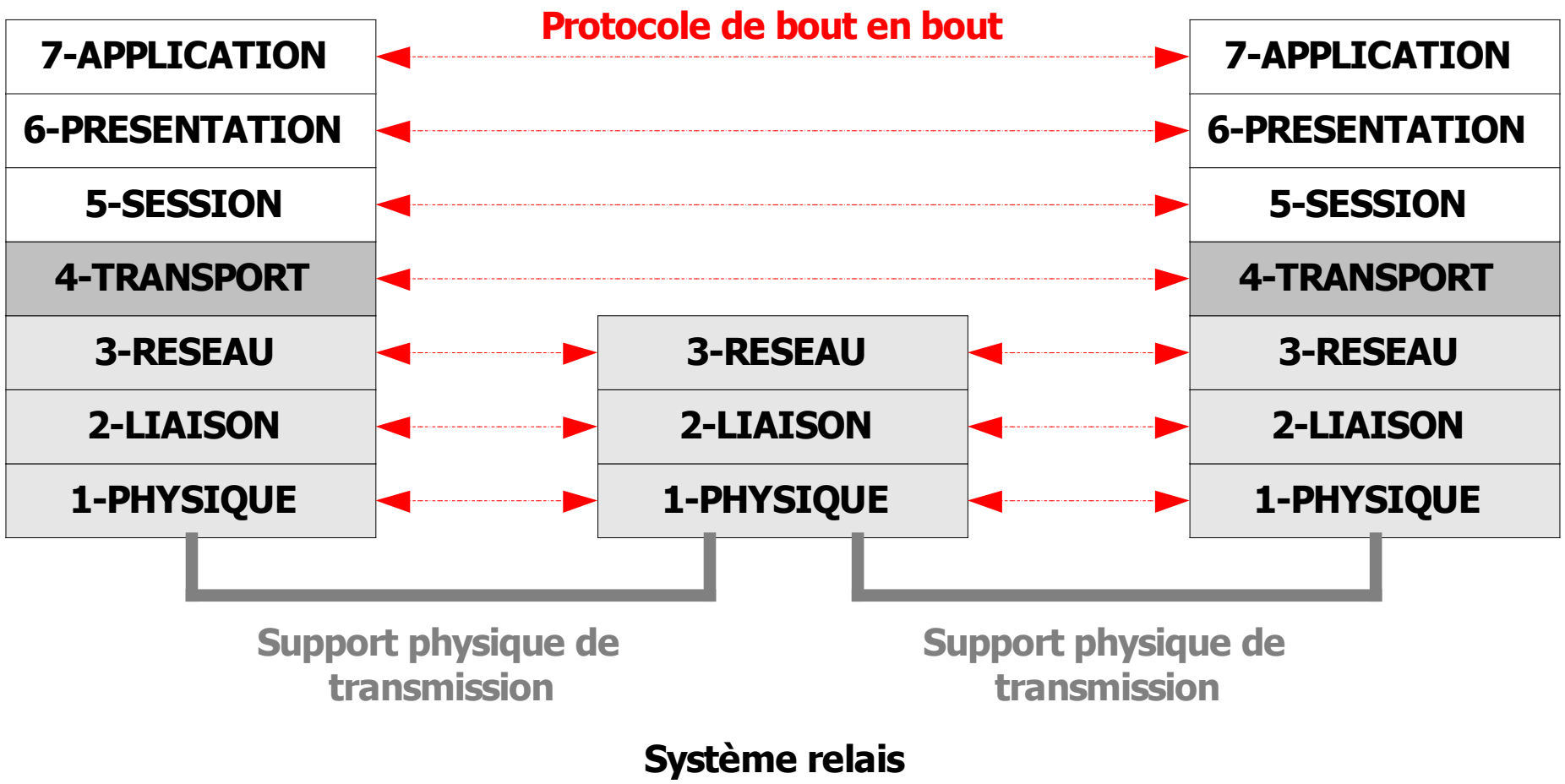
- point à point : transport de l' information
  - contrôle du lien, contrôle/reprise sur erreur, adressage, acheminement
- bout en bout : s'exécute aux extrémités, vérifie intégrité et organise le dialogue applicatif



Le modèle de référence - OSI (1)

- Un standard permettant de connecter des systèmes ouverts
  - OSI : *Open System Interconnection*
  - système ouvert : qui implémente des protocoles ouverts
  - protocole ouvert : la description du protocole et ses modifications sont publiques
- Architecture protocolaire en couches
  - couches « hautes » orientées application
  - couches « basses » orientées transport
- Décrit formellement ce qu'est une couche, un service, un point d'accès, …

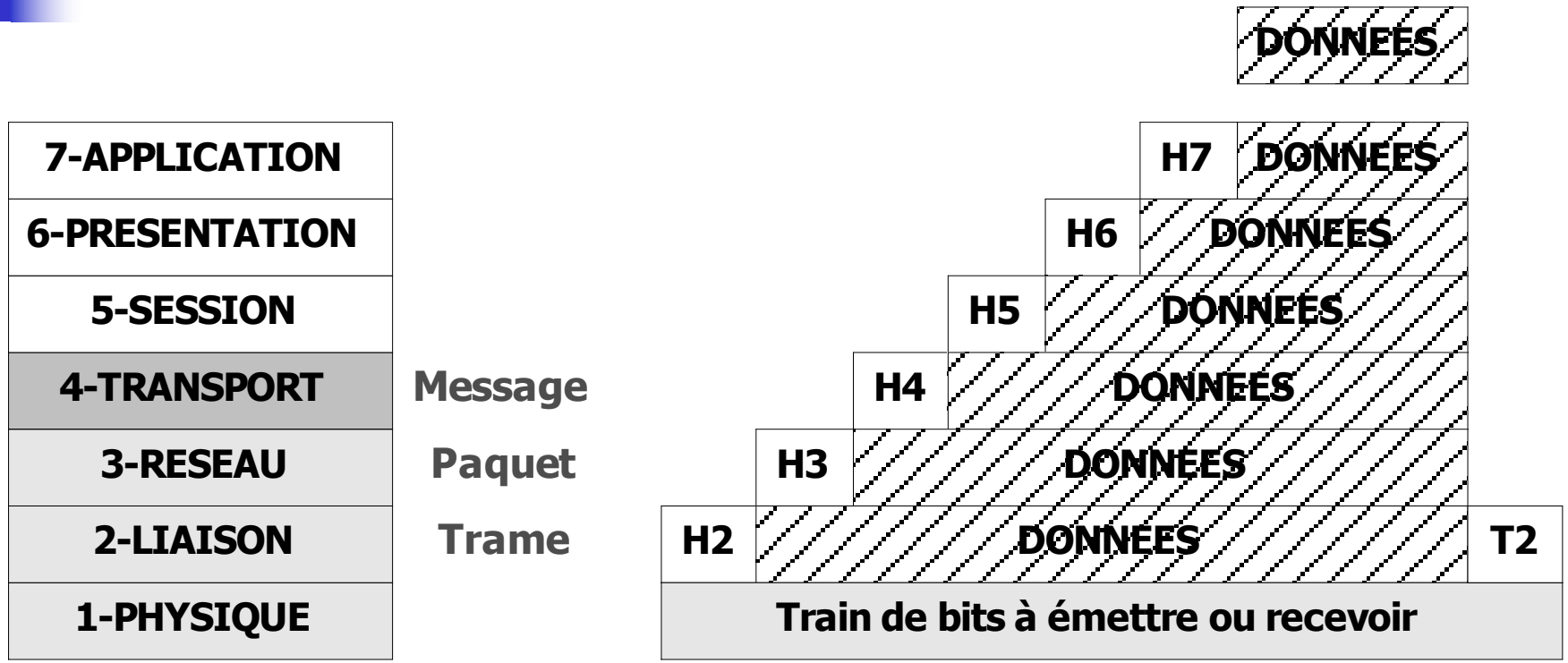
Le modèle de référence - OSI (2)



Le modèle de référence - OSI (3)

- **Physique** : relier les systèmes par un lien physique, transmission en série des bits de la trame
- **Liaison** : contrôler qu'une liaison peut être correctement établie sur ce lien, transmission des données sans erreur
- **Réseau** : assurer l'acheminement vers le bon destinataire (éventuellement via un ou plusieurs relais)
- **Transport** : contrôler que le transport s'est réalisé correctement de bout en bout
- **Session** : organiser le dialogue entre toutes les applications en gérant des sessions d'échange
- **Présentation** : traduire les données selon une syntaxe de présentation aux applications afin qu'elles soient compréhensibles par les deux entités
- **Application** : masquer à l'application les contraintes de la transmission

Le modèle de référence - OSI (4)



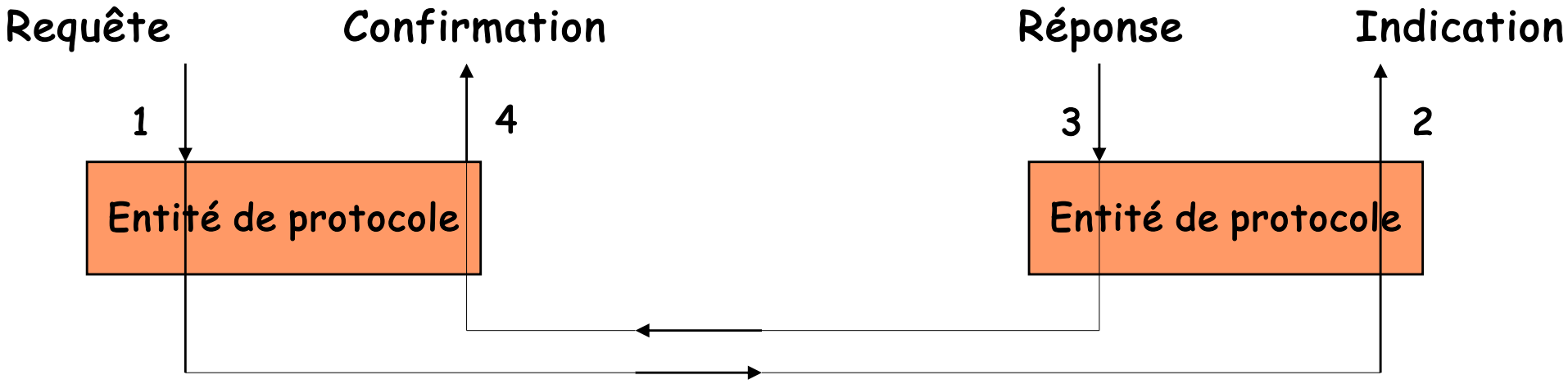
- La couche *n* ajoute l'en-tête *Hn* (encapsulation)
- La couche liaison ajoute un champ supplémentaire T2 pour le contrôle de la transmission (FCS, *Frame Check Sequence*)

Le modèle de référence - OSI (5)

- Mécanismes pouvant être mis en œuvre dans une couche
  - L'adaptation de la taille des unités de données
  - Le multiplexage et l'éclatement des connexions
  - Le contrôle de flux
  - Le maintien en séquence
  - L'accusé de réception
  - La réinitialisation
  - Les données exprès
  - La détection, correction, notification d'erreur
  - La qualité de service

Les primitives de service (1)

- Mode connecté : communication téléphonique
  - phase d'établissement de connexion
  - permet une négociation du service
  - préserve en général l'ordre des paquets et la fiabilité

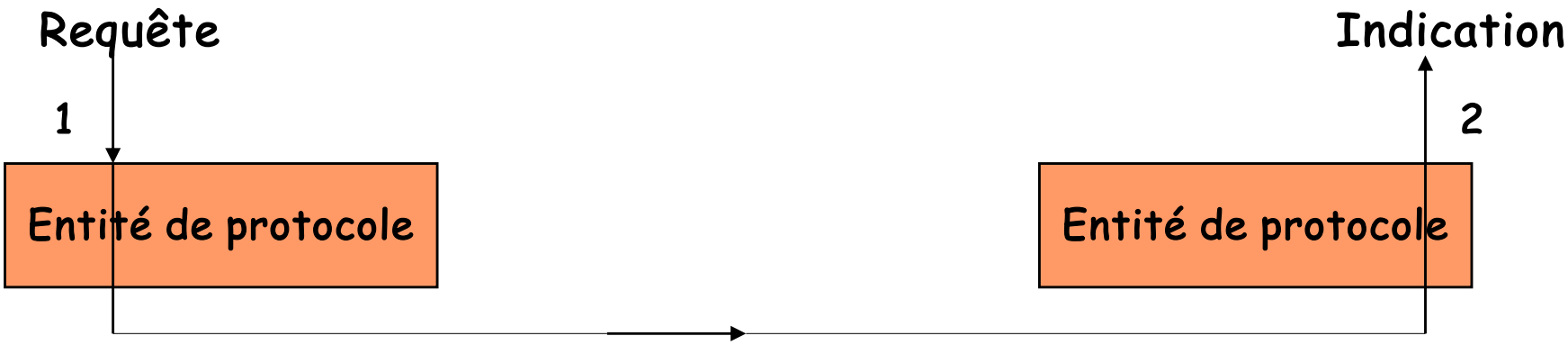


Mode connecté – exemple RTC

- Interface utilisateur : combiné téléphonique
- Un individu : un numéro de téléphone
- Trois phases dans un appel :
  - Composition du numéro de téléphone : détermination et mémorisation d'un circuit dans le réseau téléphonique pour cette conversation
  - Dialogue entre les deux utilisateurs
  - Fermeture du circuit (libération des ressources prises dans le réseau)

Les primitives de service (2)

- Mode non connecté : envoi d'une lettre postale
  - permet l'envoi de données sans l'établissement d'une connexion au préalable
  - chaque paquet est indépendant des autres et peut suivre plusieurs chemins différents
  - on peut avoir un mode non-connecté avec accusé de réception (ex : lettre recommandée)



Mode non connecté - service postal

- Interface utilisateur : boîte à lettres
- Une lettre = un message + une enveloppe
- Contenu de la lettre (message) inconnu du service postal
- Délai de remise (temps de transport de la lettre + temps de traitement de la lettre par les facteurs)
- Transport (chemins et moyens) inconnu de l'expéditeur et du destinataire

Propriété du service :

- Une lettre pour chaque information à échanger
- Quantité d'information limitée dans chaque lettre (poids)
- L'adresse est recopiée sur chaque lettre
- Pas d'horaire de dépôt
- Pas de présence ou accord du destinataire

Mode non connecté - service postal

- Si plusieurs lettres sont émises de suite, elles sont traitées indépendamment, il n'y a aucune garantie qu'elles arrivent dans le même ordre au destinataire
- La poste traite chaque lettre individuellement et ne garde aucune trace de son passage
- La poste ne détecte pas la perte d'une lettre
- Ce type de service est parfois appelé **datagramme**

La couche « Physique » (1)

- Transfert de **bits** sur le canal physique
  - synchrone/asynchrone
  - simplex/haf-duplex/full-duplex
  - sur une liaison point à point ou multipoints
- Définition des supports et des moyens d'accès
  - spécifications mécaniques (connecteur)
  - spécifications électriques (niveau de tension)
  - spécifications fonctionnelles des éléments de raccordement (établissement, maintien, libération de la ligne) et des moyens d'adaptation

La couche « Physique » (2)

- Services fournis à la couche liaison (niveau 2)
  - établissement/libération de la connexion physique
  - transmission série ou // de n bits
  - identification des extrémités de la connexion physique
  - identification d'un circuit de données
  - horloge et récupération d'horloge pour la synchro
  - notification de dérangement

La couche « Liaison de données »

- Service de transfert de trames entre 2 systèmes adjacents
- Services fournis aux entités de la couche Réseau
  - établissement, maintien, libération de la connexion
  - délimitation et transfert des trames
    - maintien de l'ordre séquentiel
    - détection et correction de certaines erreurs
    - notification d'erreurs non corrigées
    - contrôle de flux
    - reconnaissance d'une séquence binaire

La couche « Réseau »

- Assure l'acheminement des paquets à travers les différents nœuds du réseau (systèmes relais)
- Réalise le routage, le contrôle de congestion, l'adaptation de la taille des blocs de données au capacité du sous réseau physique utilisé
- Segmentation et réassemblage des paquets
- Correction/détection d'erreurs, contrôle de flux
- Service de facturation de la prestation fournie par le sous-réseau de transport

La couche « Transport » (1)

- Assure aux couches supérieures **un transfert fiable** quelle que soit la qualité du sous-réseau de transport utilisé
- Contrôle du transfert de bout en bout des messages entre les 2 systèmes d'extrémités
  - établissement/libération des connexions de transport
  - détection et correction d'erreurs de bout en bout
  - contrôle de flux de bout en bout
  - multiplexage de plusieurs applications sur une même connexion de niveau 3
- Dernière couche orientée transport de contrôle de l'information

La couche « Transport » (2)

- Classification des réseaux selon
  - le taux d'erreurs signalées (détectées par la couche réseau mais non corrigées)
  - le taux d'erreurs résiduelles (non signalées)
  - -> types A, B, C selon QoS
- Le protocole de transport doit compenser la déficience de QoS du réseau sous-jacent
  - -> 5 classes de protocoles de transport
  - classe 0 : service minimum
  - classe 1 : + reprise sur erreur signalée, gel de référence
  - …

La couche « Session » (1)

- Gère l'échange des données entre les applications distantes (couche Présentation transparente)
  - synchronisation des échanges
  - définition de points de reprise (ou point de synchronisation)
- Notion d'activité
  - un transfert autonome de données (transfert d'un fichier)
  - une connexion de session = plusieurs activités
  - une activité est découpée en unités de dialogue, séparées par des points de synchronisation majeure (si données précédentes transmises correctement)

La couche « Session » (2)

- Notion de jeton
  - disponible ou indisponible
  - si indisponible, service associé inutilisable
  - si full-duplex, usage du jeton non exclusif
- 4 jetons
  - de données : contrôle l'accès au transfert de données lors d'un échange à l'alternat
  - de terminaison : autorise le détenteur à libérer la connexion
  - de synchronisation mineure : pose de point de synchronisation mineure
  - de synchronisation majeure et d'activité : point de synchronisation majeure ou début/fin d'une activité

La couche « Présentation »

- Assure la mise en forme des données, les conversions de code nécessaires pour délivrer à la couche supérieure un message dans une syntaxe compréhensible
- Peut réaliser des transformations spéciales comme la compression ou le chiffrement des données
- Interface entre les couches qui assurent l'échange et celle qui l'utilise (couche application)

La couche « Application »

- Fournit au programme utilisateur un ensemble de fonctions permettant le bon déroulement des programmes communicants
  - transfert de fichiers
  - courrier électronique
  - ouverture d'un terminal distant
  - …

Quid du modèle de référence (OSI) ?

- Pas de véritables implémentations du modèle
  - lenteur des travaux de normalisation
  - complexité des solutions adoptées
  - non conformité aux exigences des nouvelles applications
- OSI décrit tous les concepts et mécanismes nécessaires au développement d'une architecture de communication
  - reste la référence pour présenter une architecture !

Une version simplifiée du modèle OSI

- Les protocoles de l' Internet
  - Application FTP, HTTP, telnet, SMTP, …
  - Transport TCP, UDP (entre 2 processus)
  - Réseau IP (routage)
  - Transmission entre 2 sites : pas de protocole spécifique

TCP *Transport Control Protocol*

UDP *User Datagram Protocol*

IP *Internet Protocol*

Architecture TCP/IP

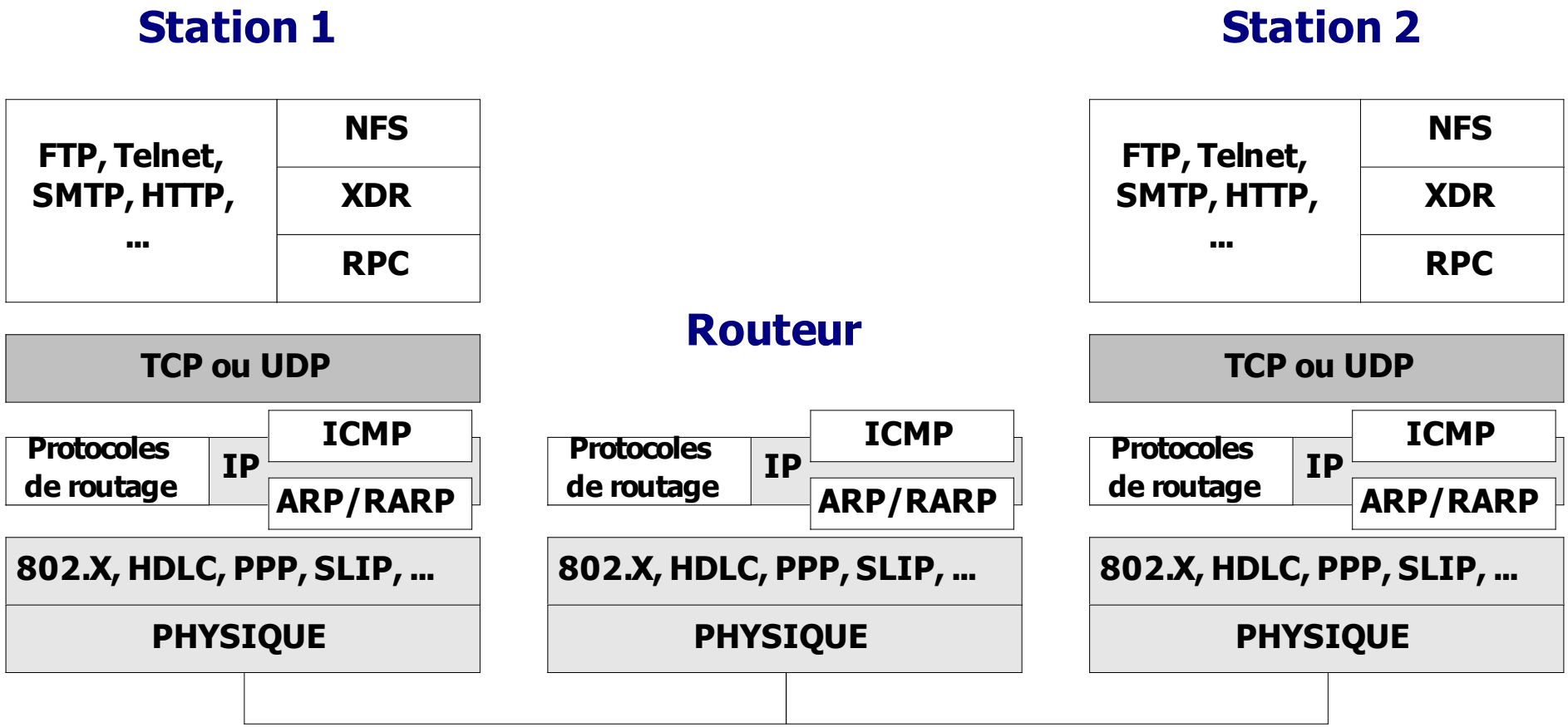
Architecture OSI

7-APPLICATION
6-PRESENTATION
5-SESSION
4-TRANSPORT
3-RESEAU
2-LIAISON
1-PHYSIQUE

Architecture TCP/IP

FTP, Telnet, SMTP, HTTP, ...	NFS		Messages
	XDR		
	RPC		
TCP ou UDP			Segments TCP Datagrammes UDP
Protocoles de routage	IP	ICMP ARP/RARP	Datagrammes
802.X, HDLC, PPP, SLIP, ...			Trames
PHYSIQUE			

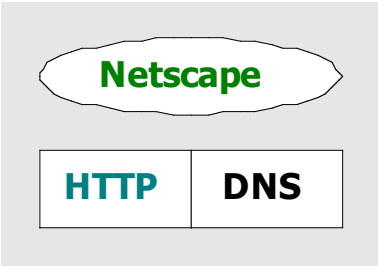
Interconnexion dans TCP/IP



Exemple d' une requête HTTP

http://www.univ-lyon1.fr

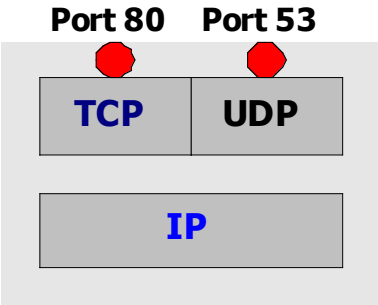
Application



- **localisation de www.univ-lyon1.fr ?**
- **DNS : 134.214.100.218**
- **appel d'une procédure HTTP-GET**
- **affiche le contenu de l'objet reçu**

- **ouverture d'une connexion TCP vers 134.214.100.218 sur le port 80**
- **envoyer GET | www.univ-lyon1.fr | HTTP 1.0**
- **réception de la réponse**

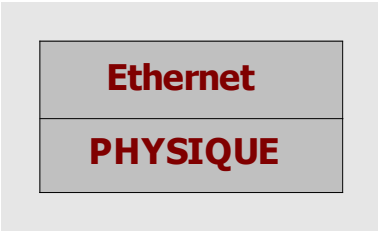
Système d'exploitation



- **envoi d'une demande de connexion, reçoit l'acceptation**
- **envoi des données, reçoit des acquittements**
- **reçoit les données, envoi des acquittements**

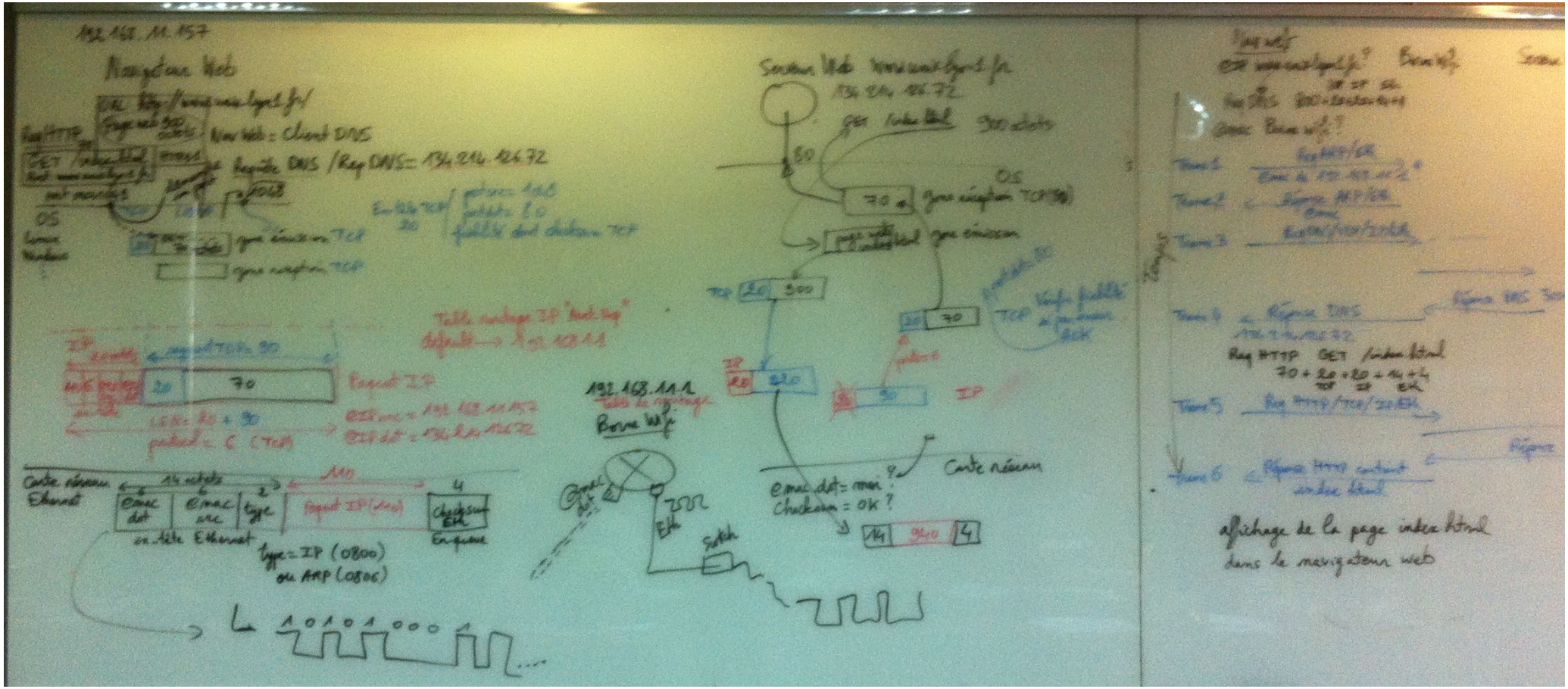
- **envoi de paquets à destination de 134.214.100.218 vers le premier routeur dans une trame Ethernet**
- **reçoit des paquets**

Carte Ethernet

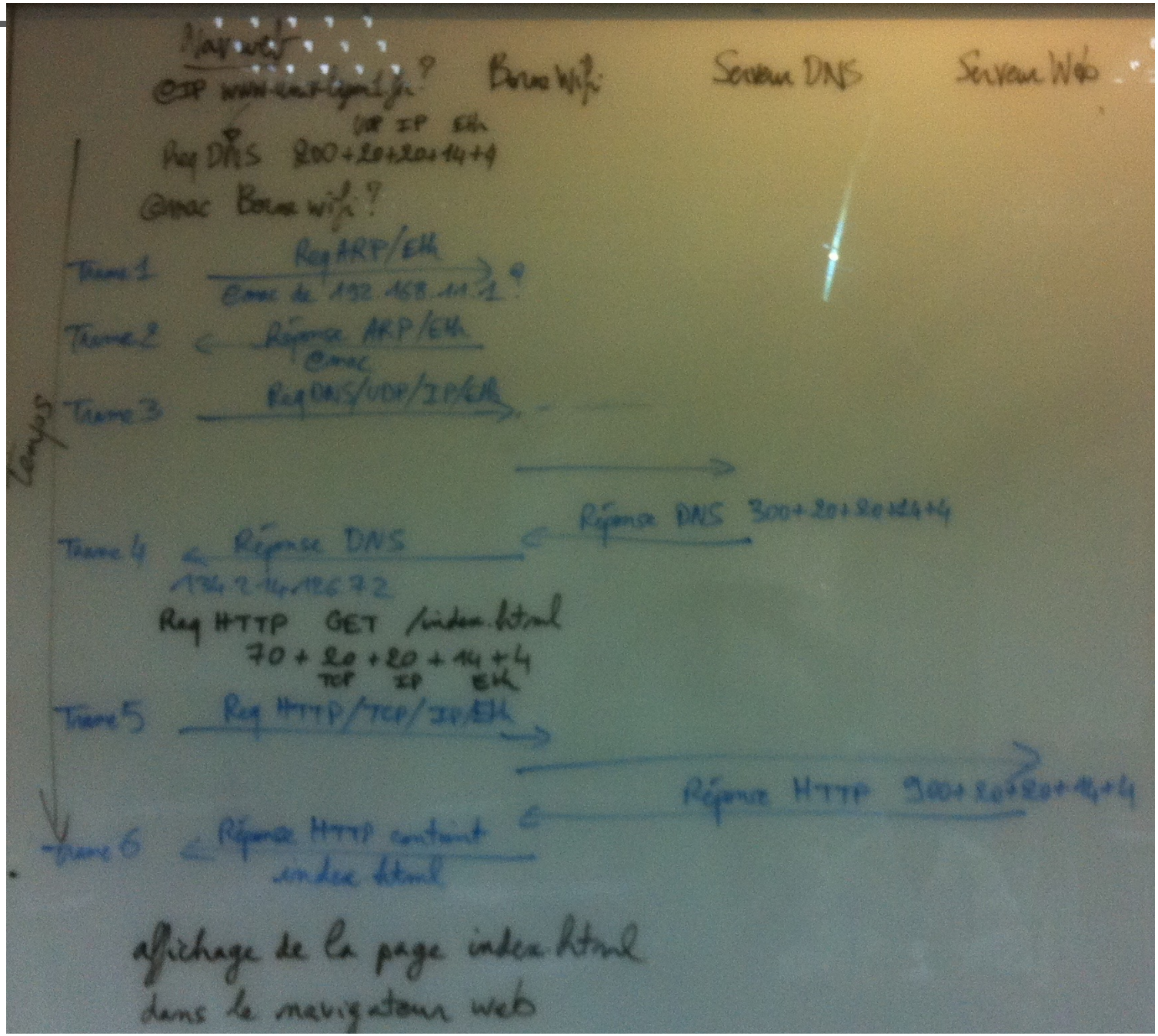


- **encode une trame en bits puis en signaux et l'envoie sur le câble**
- **reçoit et décode les trames en retour**

Exemple d’ une requête HTTP



Exemple d’ une requête HTTP



Conclusion : modèles OSI et TCP/IP

- OSI
  - générique mais trop complexe à implanter
  - des inconsistances et des redondances
  - normalisation très lente liée à un type de réseau
- TCP/IP
  - protocoles existants mais dédiés à l' Internet
  - Recherche de simplicité, interopérabilité, évolutivité dans la conception initiale