

Les réseaux

1

Introduction aux réseaux et l'Internet

D'après le livre :

Analyse structurée des réseaux

Jim Kurose, Keith Ross
Pearson Education

Adaptation : [AbdelAli ED-DBALI](mailto:AbdelAli.Ed-Dbali@lifo.univ-orleans.fr) (AbdelAli.Ed-Dbali@lifo.univ-orleans.fr)

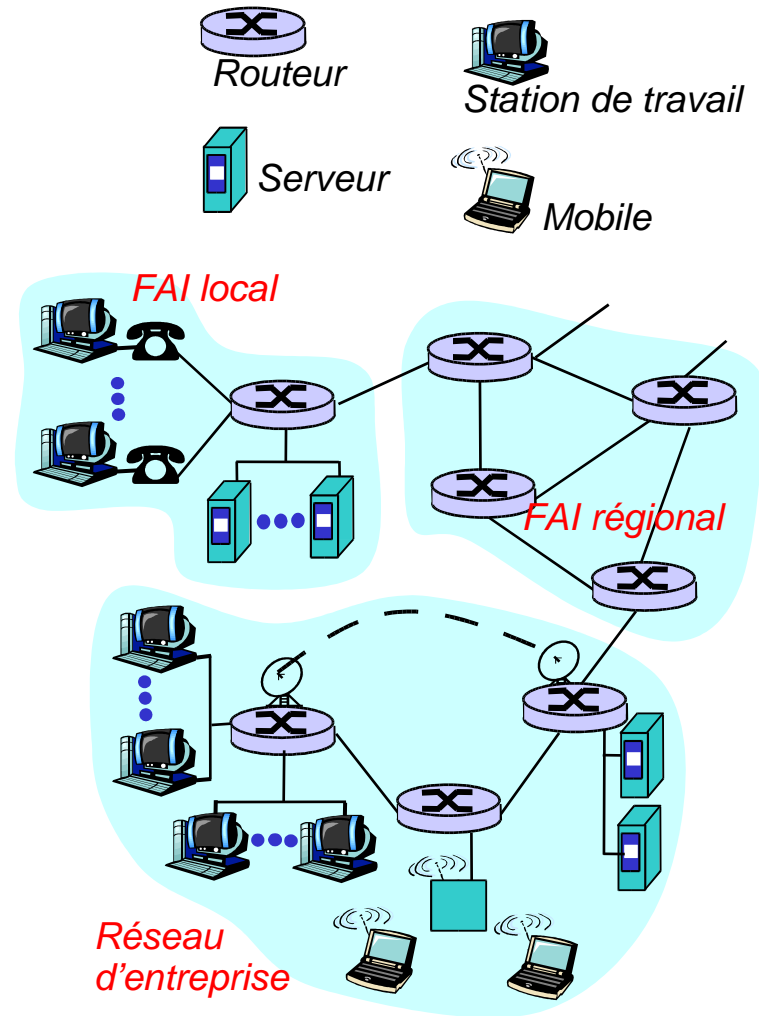


Partie 1 – Introduction : plan

- ♦ Vue d'ensemble de l'internet
- ♦ Qu'est ce qu'un protocole
- ♦ Vision frontalière et noyau du réseau
 - ♦ Commutation de circuit / commutation de paquet
- ♦ Performance : perte et retard
- ♦ Modèle couches et services
- ♦ Histoire

Qu'est ce que l'Internet ?

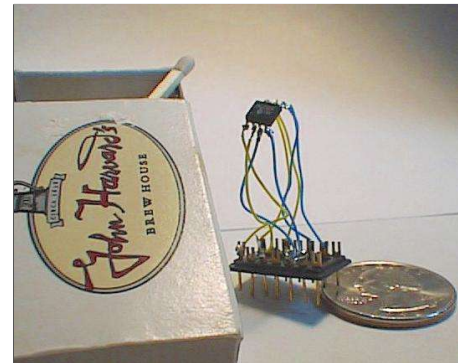
- ♦ millions de machines connectées : *ordinateurs, systèmes-terminaux*
 - ♦ Stations de travail, serveurs
 - ♦ PDA, tél, ...exécutant *apps réseau*
- ♦ *supports de communication*
 - ♦ fibre, cuivre, radio, satellite
 - ♦ taux de transfert = *largeur de bande*
- ♦ *routeurs* : faire suivre les paquets (découpage des données)



Quelques applications...



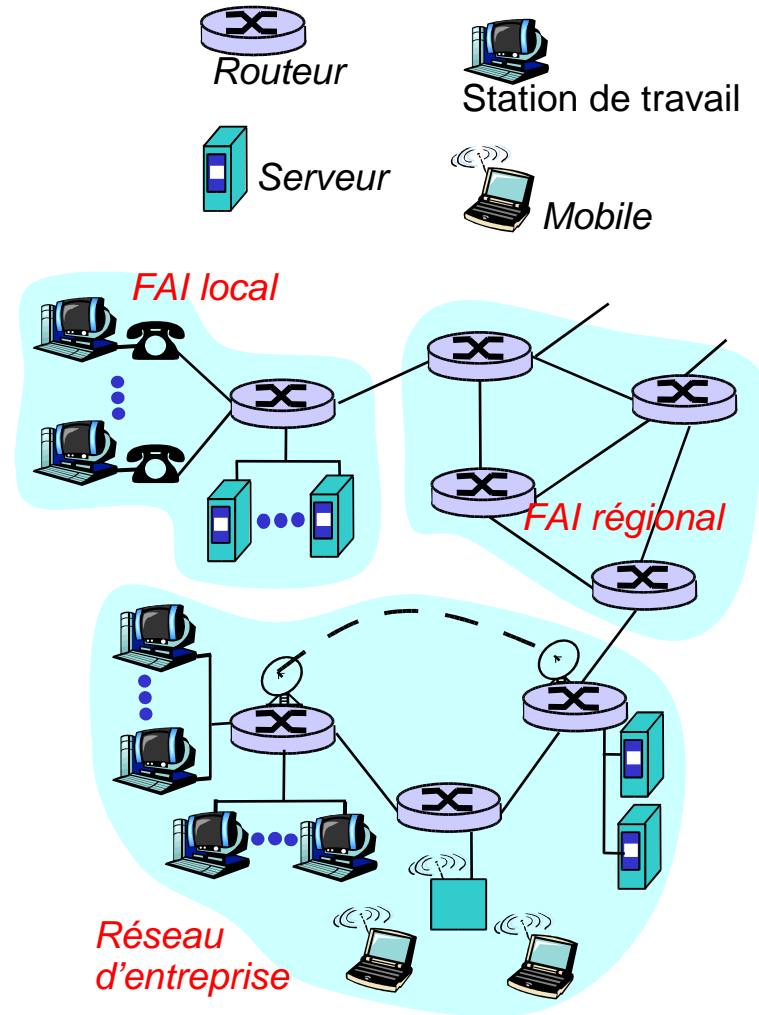
L'IP cadre photos
<http://www.ceiva.com/>



Le plus petit serveur web au monde !
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>

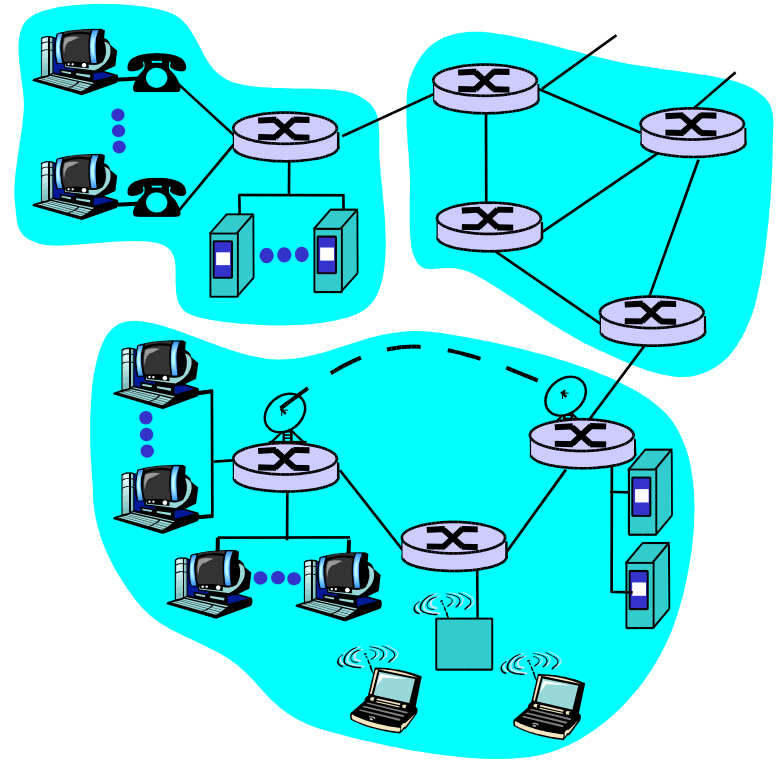
Qu'est ce que l'Internet ?

- ♦ *Les protocoles* contrôlent l'envoi et la réception des messages
 - ♦ ex.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- ♦ *Internet: "le réseau des réseaux"*
 - ♦ faiblement hiérarchique
 - ♦ Internet public vs intranet privé
- ♦ Standards Internet
 - ♦ RFC: Request For Comments
 - ♦ IETF: Internet Engineering Task Force



Qu'est ce que l'Internet ? Les services

- ♦ **Infrastructure de communication** qui permet l'utilisation d'applications distribuées :
 - ♦ Web, email, jeux, e-commerce, base de données, vote, partage de fichiers (MP3), ...
- ♦ **Services de communication offerts aux applications:**
 - ♦ Connection en mode *connecté*
 - ♦ Connection en mode *non-connecté*



Qu'est ce qu'un protocole ?

protocoles humain

- ♦ "quelle heure est-il?"
- ♦ "j'ai une question"
- ♦ Introductions

... msgs spécifiques
envoyés

... actions spécifiques prises
à la réception des
msgs, ou autres
événements

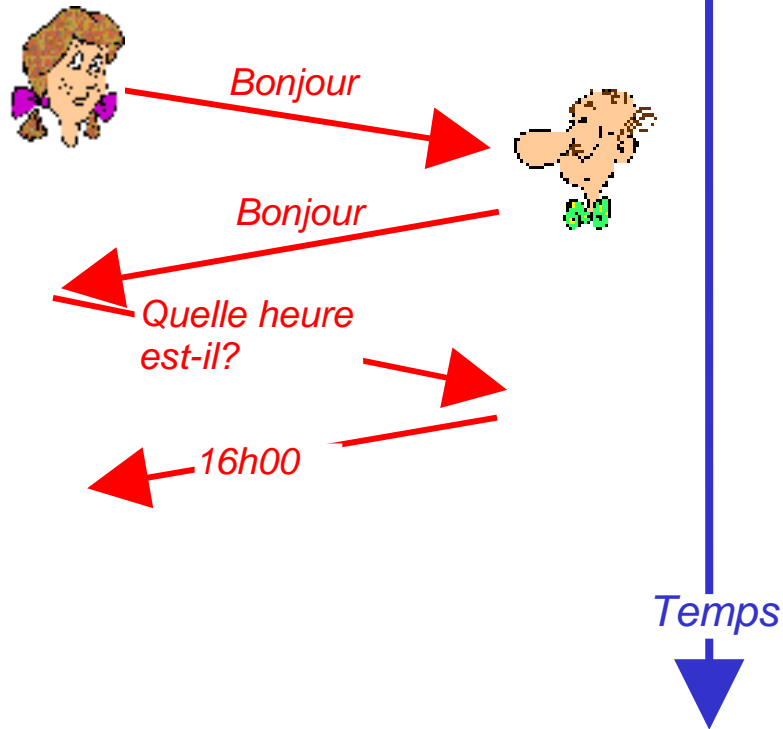
protocoles réseaux

- ♦ machines/humains
- ♦ toute activité de
communication dans
Internet gouvernée par des
protocoles

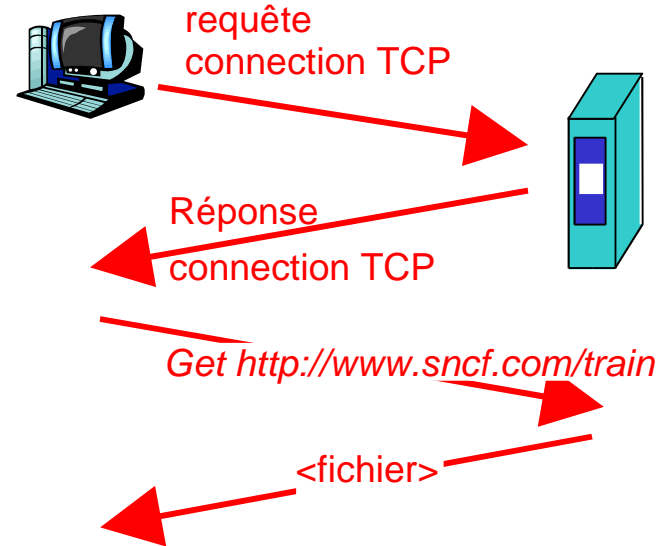
*Les protocoles définissent le format,
l'ordre des messages envoyés et
reçus parmi les entités du réseau,
ainsi que les actions prises à la
réception ou la transmission de
messages*

Exemples de protocoles ?

un protocole humain



un protocole réseau : web



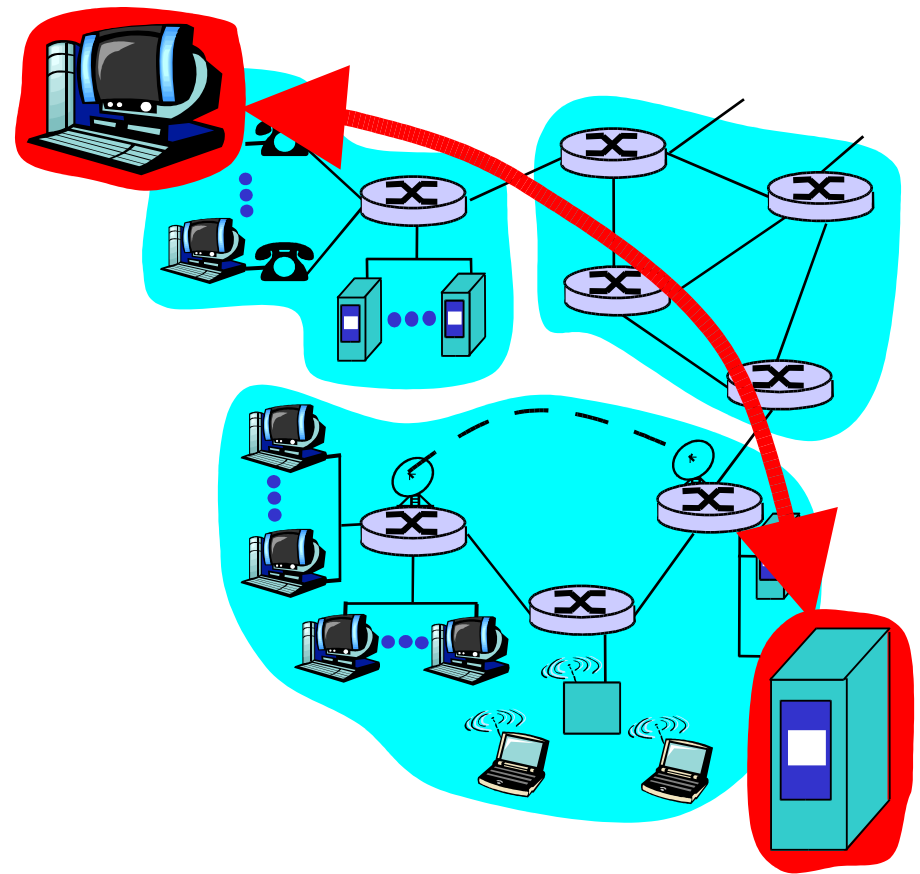
Bords du réseau

- ◆ **Systemes terminaux (hosts)**

Exécutent des applications (web, email, ...) aux "bords" du réseau

- ◆ **Modèle client/serveur**

- ◆ Les machines clientes envoient des requêtes et reçoivent des services de la part de serveurs "always-on"
- ◆ Brouteur web/serveur web; lecteur emails/serveur email



Services en mode connecté

- ♦ Une connexion définit les paramètres régissant un dialogue entre deux entités
- ♦ Après cette phase d'établissement, la connexion entre dans la phase de transfert de données
- ♦ Ensuite la connexion est rompue, c'est-à-dire que les ressources allouées sont libérées et le dialogue terminé

- ♦ **TCP** - *Transmission Control Protocol*

Le service orienté connexion de l'Internet

service TCP [RFC 793]

- ♦ *fiable, données arrivées dans l'ordre*
 - ♦ perte: acquittements et retransmissions
- ♦ *contrôle de flux*
 - ♦ L'émetteur ne submerge pas le récepteur
- ♦ *contrôle congestion*
 - ♦ L'émetteur freine ses envois quand le réseau est encombré

Services en mode non-connecté

- ♦ Les données sont émises indépendamment les unes des autres, sans négociation préalable
- ♦ Utile quand la connexion est coûteuse
- ♦ Pas de garanties
 - ♦ fiabilité
 - ♦ contrôle de flux
 - ♦ contrôle de congestion
- ♦ **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]

Apps utilisant TCP:

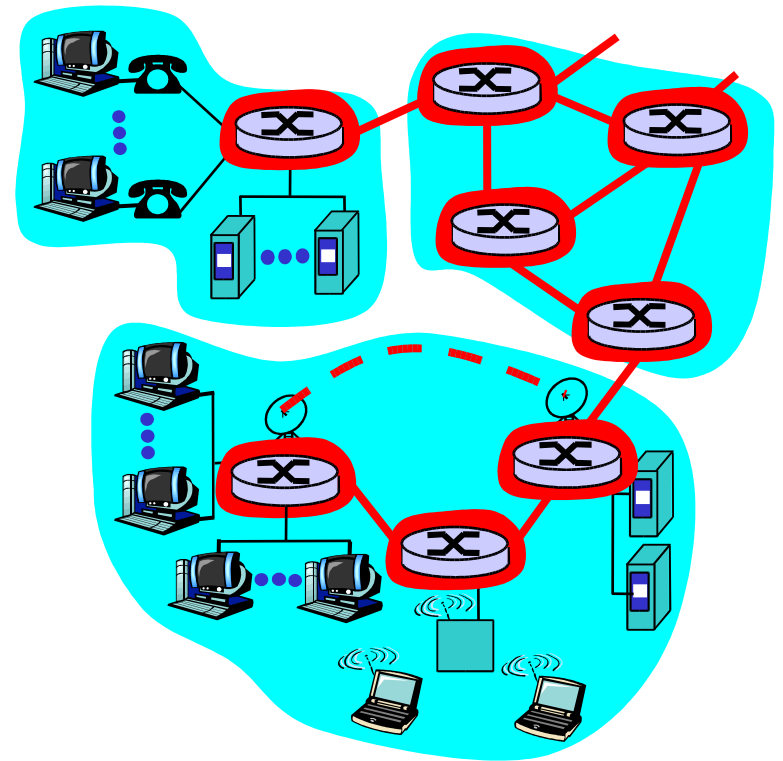
HTTP (Web), FTP (file transfer), Telnet (remote login), SMTP (email)

Apps utilisant UDP:

streaming, téléconférence, DNS, téléphonie via Internet

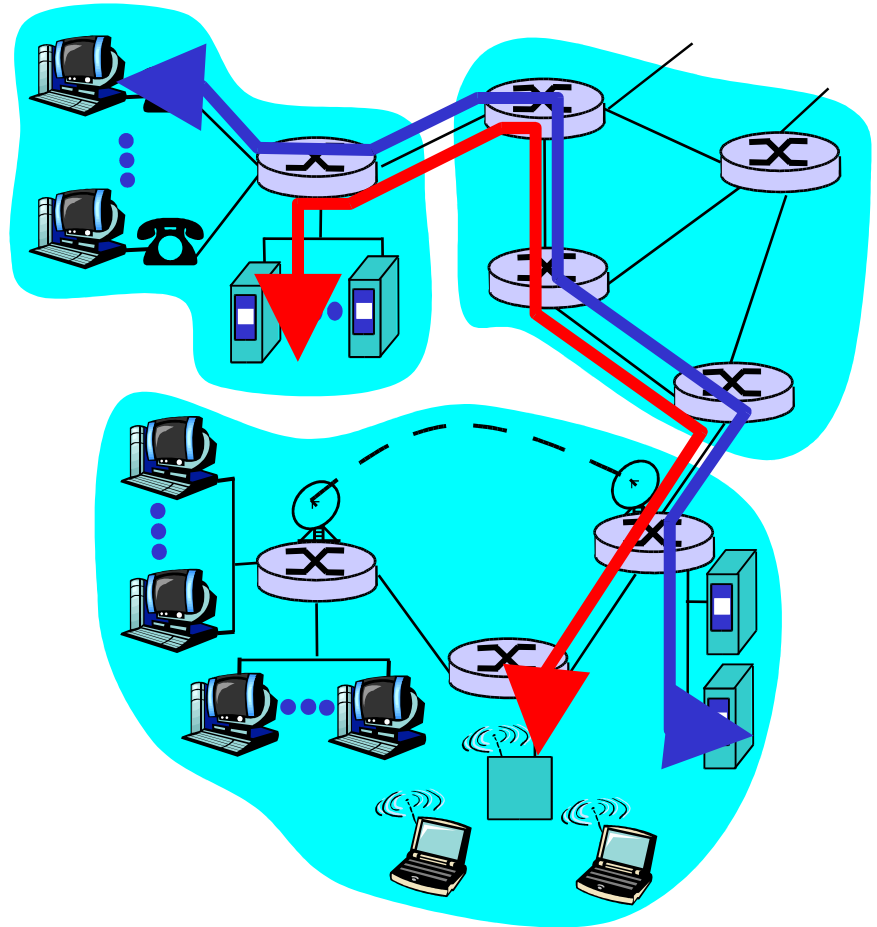
Le cœur du réseau

- ♦ Collection de routeurs interconnectés
- ♦ **LA question fondamentale :** comment les données sont acheminées via le réseau ?
- ♦ **Commutation de circuit**
 - ♦ circuit dédié par appel
 - ♦ réseau téléphonique
- ♦ **Commutation de paquet**
 - ♦ données envoyées par petits bouts indépendants



Commutation de circuit

- ♦ ressources réseau (ex. largeur de bande) divisées
- ♦ morceaux de ressources alloués à la connexion
- ♦ morceaux de ressources bloqués si non utilisés par le propriétaire (*pas de partage*)
- ♦ La division de la bande se fait par :
 - ♦ Fréquence
 - ♦ Temps

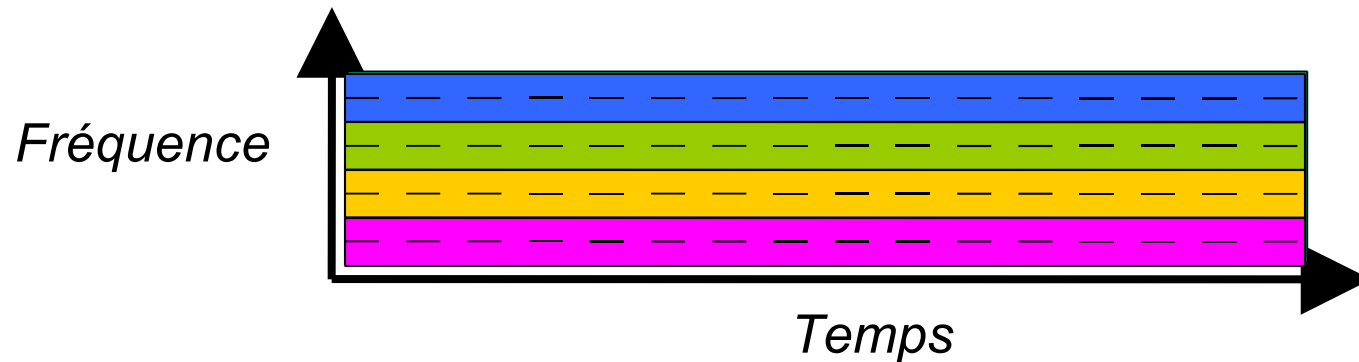


Commutation de circuit : FDM et TDM

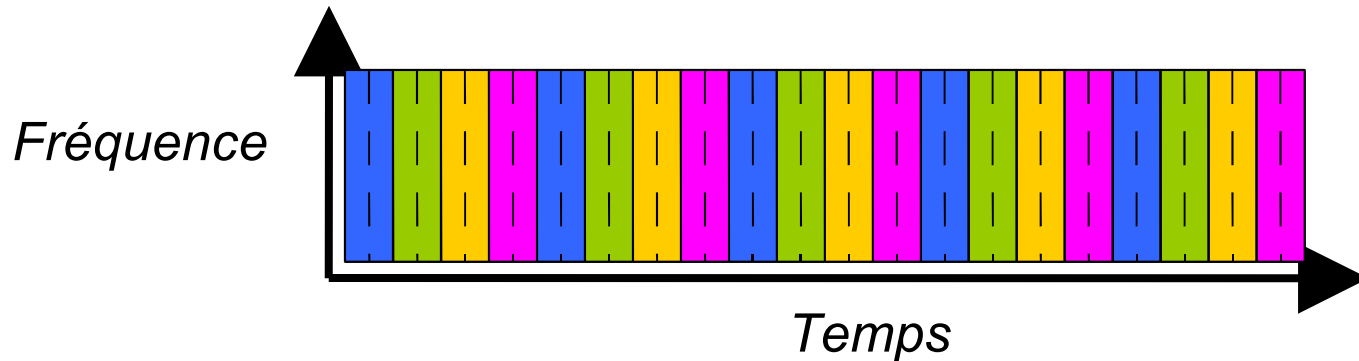
FDM (*Frequency-Division Multiplexing*)

Exemple:

4 utilisateurs 



TDM (*Time-Division Multiplexing*)



Commutation de paquets

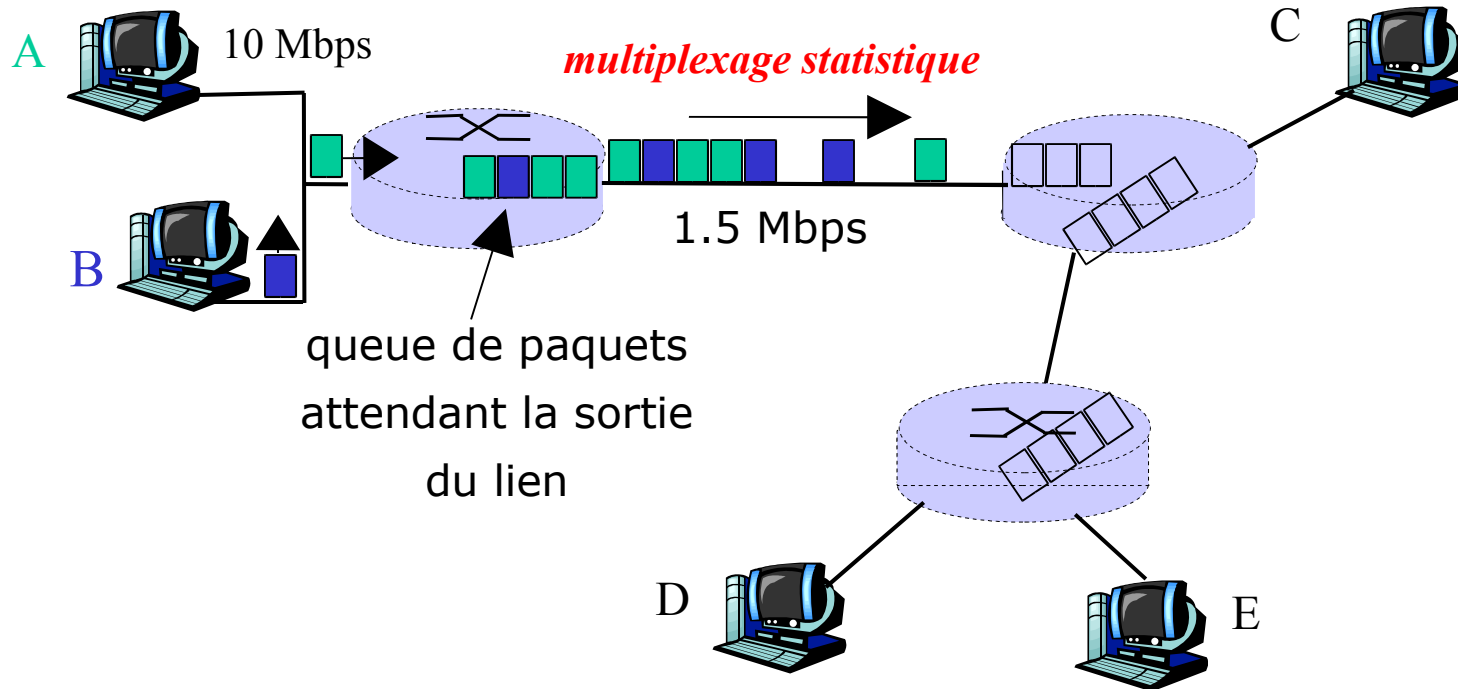
Tout le flux de données divisé en paquets

- ♦ Paquets des utilisateurs A et B *partagent* les ressources du réseau
- ♦ Chaque paquet utilise la totalité de la bande passante
- ♦ Ressources utilisées quand c'est nécessaire
- ♦ *Pas de division de la bande*
- ♦ *Pas d'allocation ou de réservation dédiée de ressources*

Dispute des ressources

- ♦ La demande peut dépasser la quantité de ressources disponible
- ♦ Congestion
 - ♦ Queue de paquets
 - ♦ Attente utilisation du lien
- ♦ Stocker et acheminer

Commutation de paquets : Multiplexage Statistique



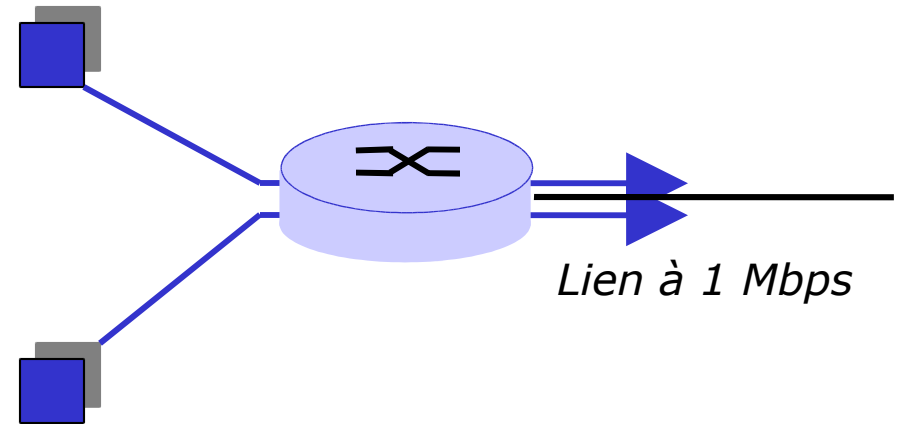
Séquence des paquets de A et B n'ont pas de motif fixe
multiplexage statistique

Commutation de paquets/Commutation de circuit

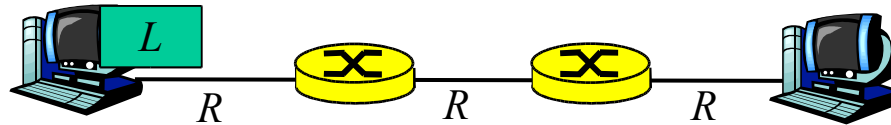
Commutation de paquets permet plus d'utilisateurs sur le réseau

- ♦ Lien à 1 Mbps
- ♦ Chaque utilisateur :
 - ♦ 100 kbps quand "actif"
 - ♦ actif 10% du temps
- ♦ Commutation de circuit :
 - ♦ 10 utilisateurs
- ♦ Commutation de paquets :
 - ♦ Avec 35 utilisateurs, probabilité de plus de 10 actifs inférieure à 0.0004

N utilisateurs



Commutation de paquets : stocker et acheminer

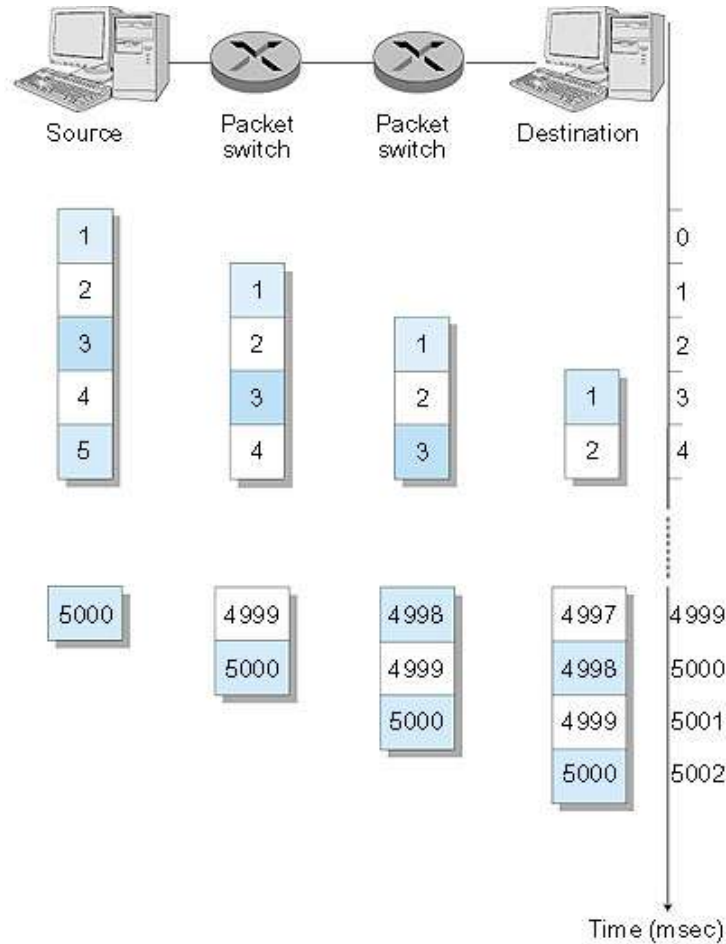


- Prend L/R secondes pour transmettre (*mettre sur la sortie*) un message de L bits à travers le lien de R bps
- Le message entier doit arriver au routeur avant que se dernier commence à le transmettre au prochain lien : *stocker et acheminer*
- Délai = $3L/R$

Exemple:

- $L = 7.5$ Mbits
- $R = 1.5$ Mbps
- délai = 15 sec

Commutation de paquets : Fragmentation des messages



Maintenant scindons le message en 5000 paquets

- ◆ Chaque paquet fait 1500 bits
- ◆ 1 ms pour transmettre un paquet sur le lien
- ◆ *pipelining*: chaque lien travaille en parallèle
- ◆ Délai réduit de 15 s à 5.002 s

Réseau à commutation de paquets : routage

- ♦ ***But***

transmettre les paquets à travers des routeurs depuis la source à la destination

- ♦ Seront discutés plus tard plusieurs algorithmes de sélection de chemins

- ♦ **Réseau datagramme**

- ♦ L'*adresse de destination* dans chaque paquet détermine le prochain saut (*next hop*)

- ♦ *routes* peuvent changer durant la session

- ♦ Analogie : conduire en demandant son chemin

- ♦ **Réseau à circuit virtuel**

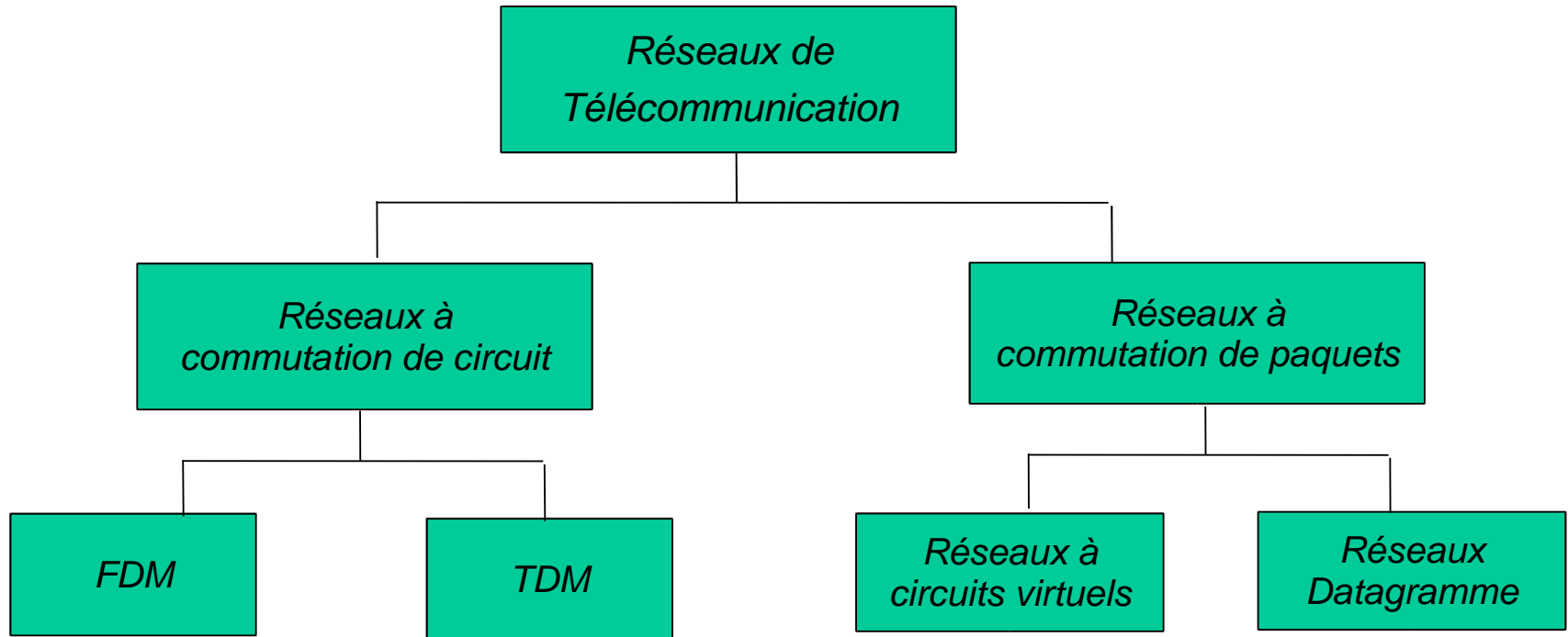
- ♦ Chaque paquet porte un tag (identifiant du circuit virtuel)

- ♦ Le tag détermine le prochain saut

- ♦ Un chemin fixe est déterminé à la *connexion* (reste fixe durant la session)

- ♦ *Les routeurs conservent cette information*

Taxonomie des réseaux



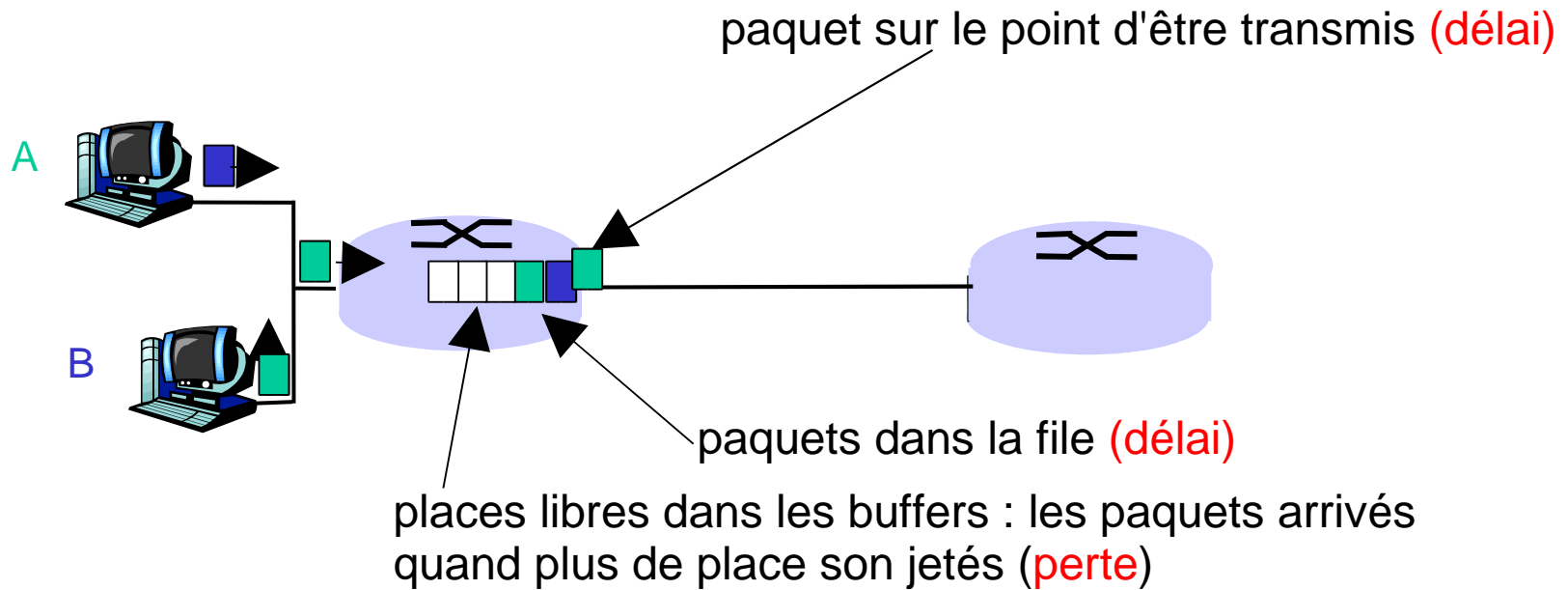
Internet fournit aux applications des services :

- en mode connecté (TCP)
et
- en mode non-connecté (UDP)

Comment les paquets se perdent ?

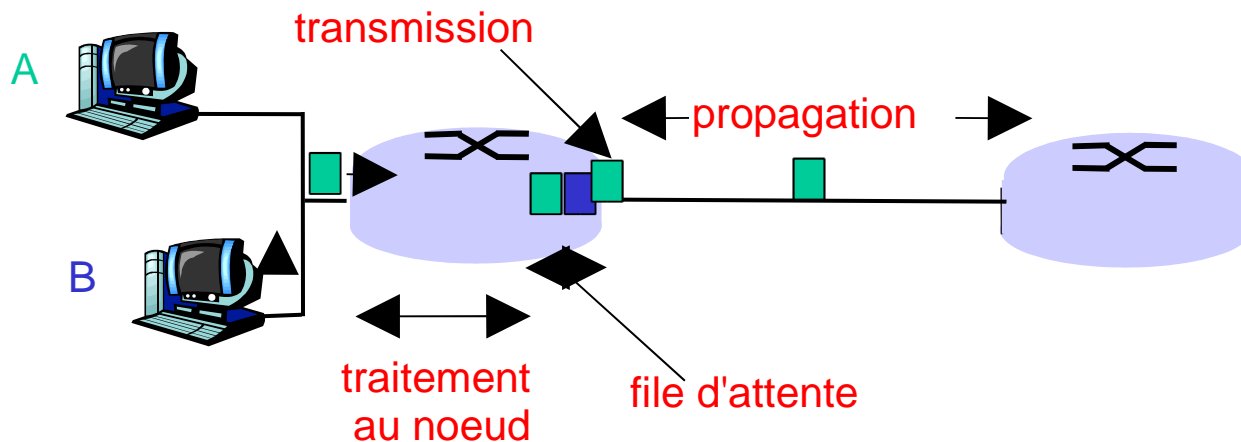
Les paquets attendent dans la *file* des buffers des routeurs

- Vitesse d'arrivée des paquets dépasse la capacité de sortie du lien



Quatre sources de retard des paquets

- ♦ **1. Traitement au noeud:**
 - ♦ Contrôle d'erreurs
 - ♦ Trouver le lien de sortie
- ♦ **2. file d'attente**
 - ♦ Temps passé à la sortie du lien pour transmission
 - ♦ Depend du niveau d'encombrement du routeur



Délais dans les réseaux à commutation de paquets

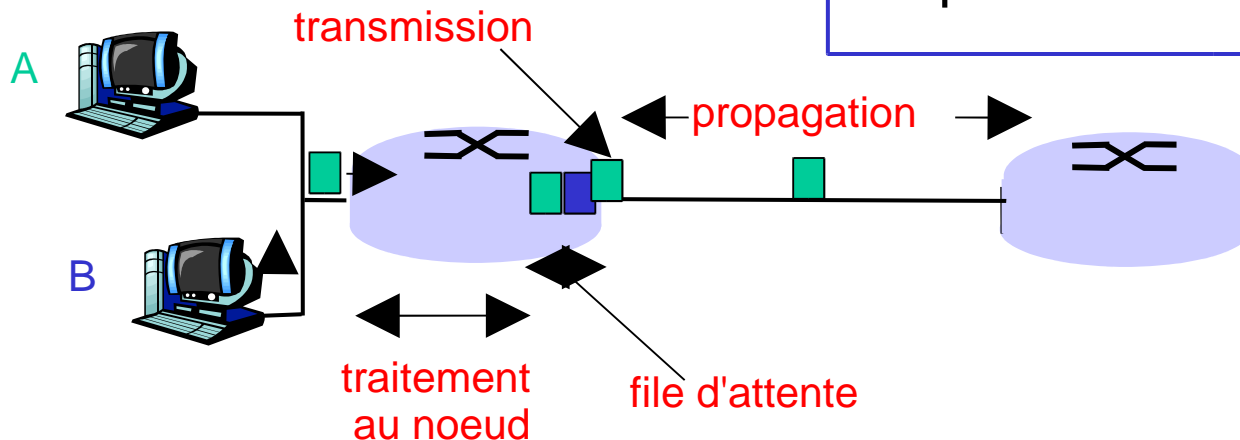
3. délai de transmission :

- R = largeur de bande du lien (en *bps*)
- L = taille du paquet (en *bits*)
- Le temps pour envoyer le paquet dans le lien = L/R

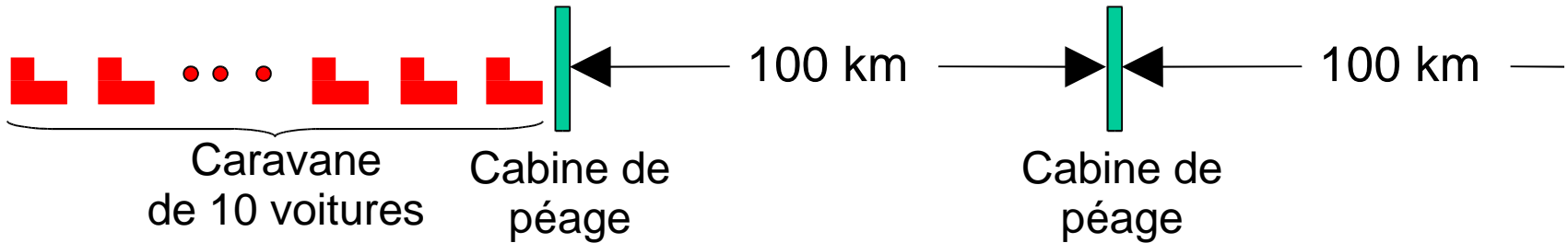
4. délai de propagation :

- d = longueur du lien physique
- s = vitesse de propagation dans le média ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- délai de propagation = d/s

Note: s et R sont des quantités *très* différentes !

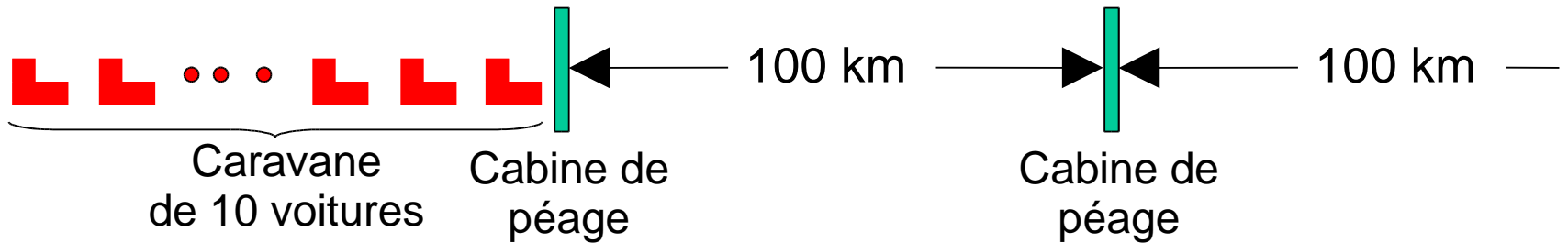


Analogie : Caravane de voitures



- ♦ Les voitures se "propagent" à 100 km/h
- ♦ La cabine de péage prend 12 sec pour servir une voiture (temps de transmission)
- ♦ voiture ~ bit; caravane ~ paquet
- ♦ **Question: Combien de temps pour que la caravane soit alignée avant la 2ème cabine de péage?**
- ♦ Le temps pour faire passer toute la caravane via le péage = $12 * 10 = 120$ sec
- ♦ Le temps pour que la dernière voiture se "propage" du 1er au péage : $100\text{km} / (100\text{km/h}) = 1$ h
- ♦ **Réponse: 62 minutes**

Analogie : Caravane de voitures (suite)



- Les voitures se "propagent" maintenant à 1000 km/h
- La cabine de péage prend maintenant 1 min pour servir une voiture
- **Question: les voitures arriveront-elles au 2nd péage avant que toutes les voitures ne quittent le 1^{er}?**
- **Oui!** Après 7 min, 1^{er} voiture au 2nd péage et 3 voitures encore au 1^{er}.
- Le 1^{er} bit d'un paquet peut arriver au 2nd routeur avant que le paquet soit complètement transmis par le 1^{er}!

Délai du noeud

$$d_{\text{noeud}} = d_{\text{trait}} + d_{\text{file}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

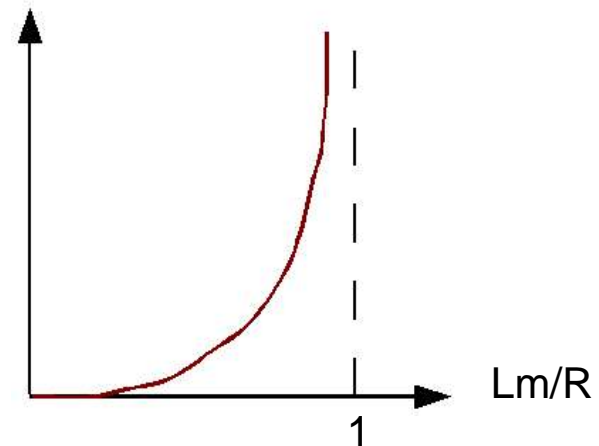
- ♦ d_{trait} = délai de traitement
 - ♦ typiquement: quelques micro-secondes ou moins
- ♦ d_{file} = délai de file d'attente
 - ♦ dépend de l'encombrement
- ♦ d_{trans} = délai de transmission
 - ♦ $= L/R$, significatif pour les liens lents
- ♦ d_{prop} = délai de propagation
 - ♦ de quelques micro-secondes jusqu'à quelques centaines de micro-secondes

Délai d'attente dans la file

- ♦ R =largeur de bande (bps)
- ♦ L =longueur du paquet (bits)
- ♦ m =taux moyen d'arrivé des paquets

Intensité du trafic = Lm/R

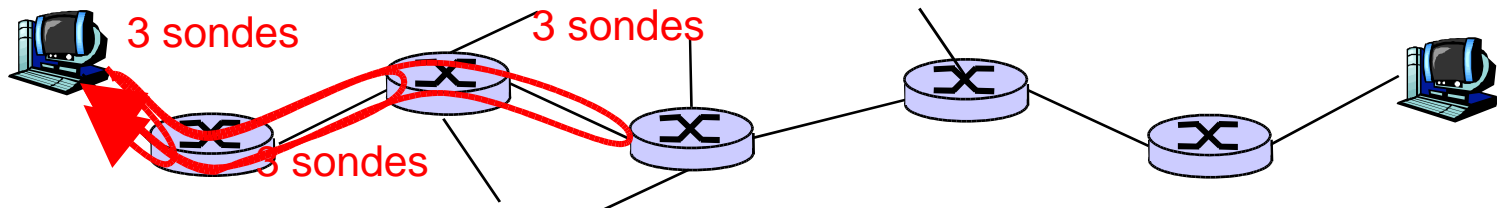
délai d'attente
moyen



- ♦ $Lm/R \sim 0$: délai d'attente moyen petit
- ♦ $Lm/R \rightarrow 1$: délai devient grand
- ♦ $Lm/R > 1$: arrivée de plus de "travail" qu'on peut servir, délai moyen infini!

Délais “réels” dans Internet

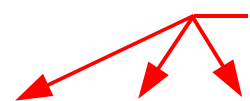
- A quoi ressemblent les délais “réels” et les pertes dans Internet?
- Programme **traceroute** : offre les mesures des délais depuis la source au routeur le long du chemin Internet qui mène vers la destination.
- Pour tout routeur *r* dans le chemin entre la source et la destination :
 - envoyer trois paquets qui doivent atteindre le routeur *r*
 - le routeur *r* doit renvoyer à l'émetteur les 3 paquets qu'il a reçu
 - l'émetteur calcule, pour chaque paquet, le temps qui sépare l'envoi de la réception



Délais “réels” dans Internet

traceroute: gaia.cs.umass.edu à www.eurecom.fr

Trois mesures de délais
de gaia.cs.umass.edu à cs-gw.cs.umass.edu



1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms ← lien trans-atlantique
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * * ← * pas de réponse (paquet perdu, routeur ne répond pas)
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms

Perte de paquets

- ♦ La file précédant le lien a une capacité finie
- ♦ Quand un paquet arrive dans une file pleine, il est jeté (perdu)
- ♦ Le paquet perdu peut être transmis par le noeud qui précède, l'émetteur initial ou jamais

“couches” de protocoles

Les réseaux sont complexes !

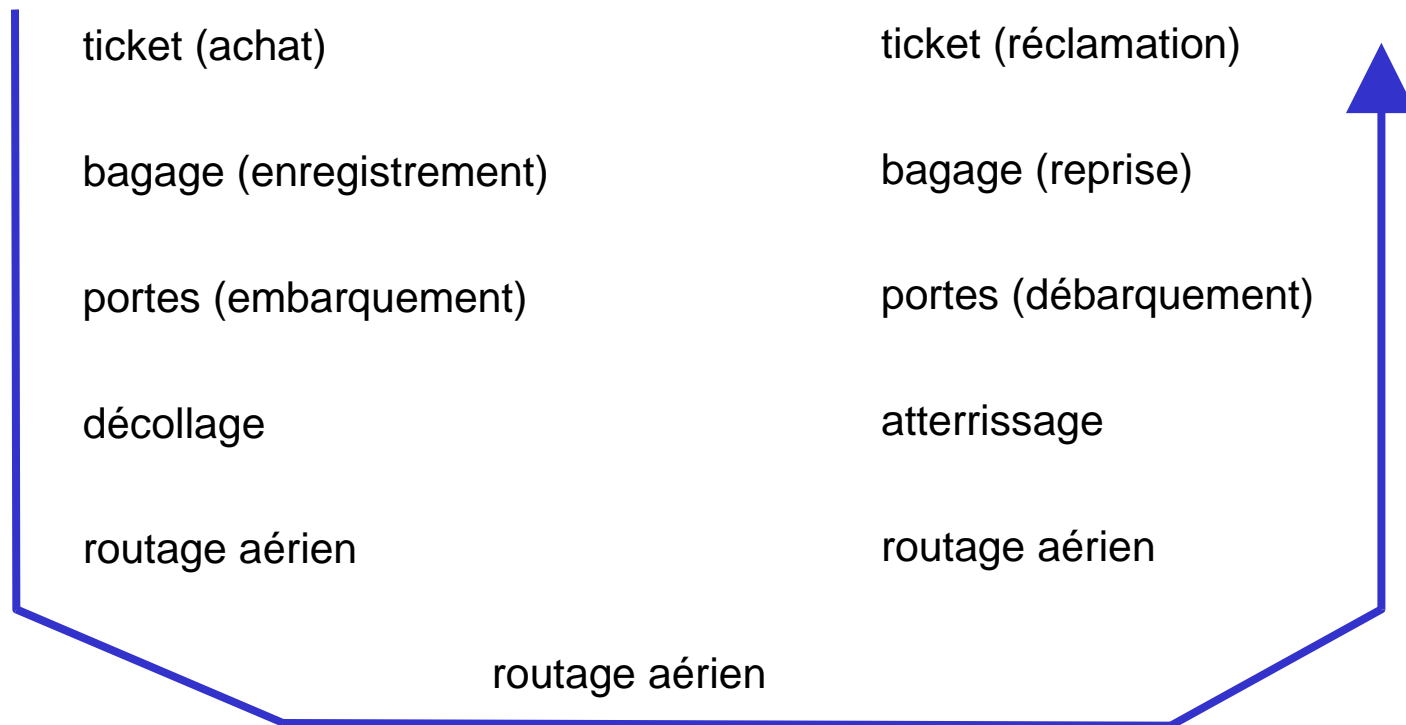
- ♦ Beaucoup d' “objets” :
 - ♦ stations
 - ♦ routeurs
 - ♦ liens de différents types
 - ♦ applications
 - ♦ protocoles
 - ♦ matériel, logiciel

Question:

Y a-t-il un espoir d'organiser la structure des réseaux ?

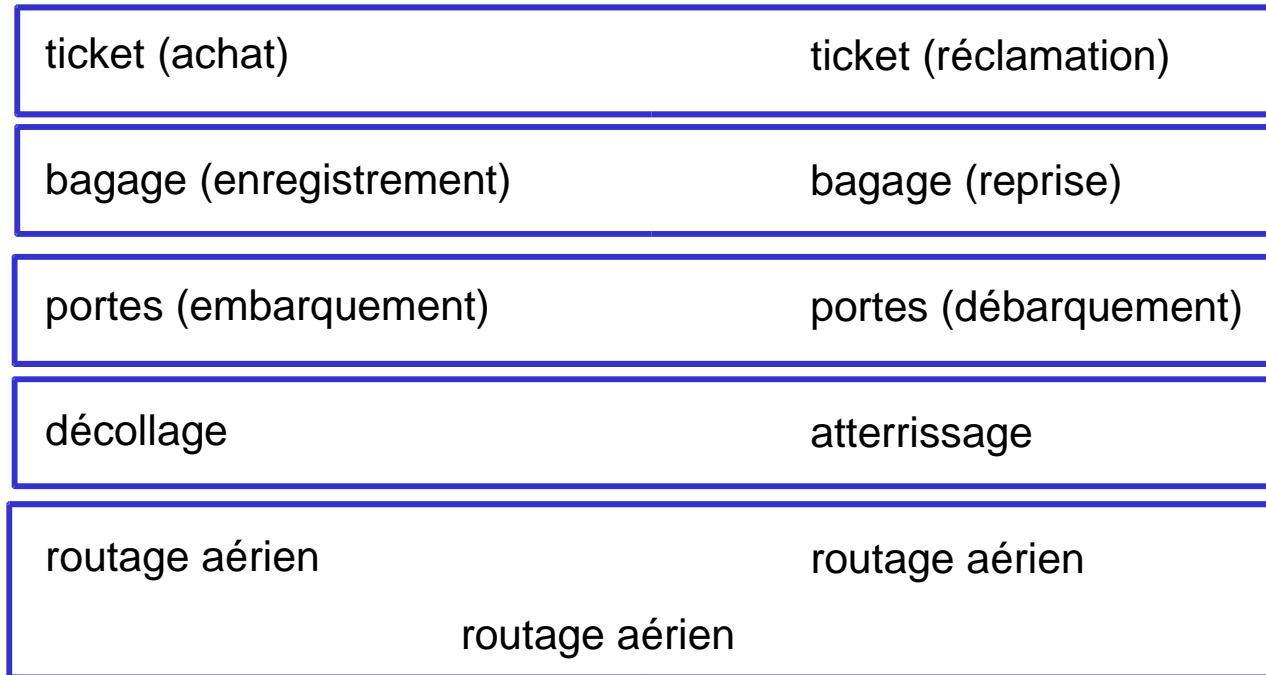
Ou au moins notre discussion à propos de ces réseaux ?

Organisation du voyage par les airs



- ♦ Une série d'étapes

Organisation du voyage par les airs: une vision différente



Couches : chaque couche implémente un service

- ♦ à travers ses propres actions
- ♦ en reposant sur les services fournis par la couche inférieur

Voyage par les airs : vision services

voyagiste à voyagiste : délivrer personne+bagage

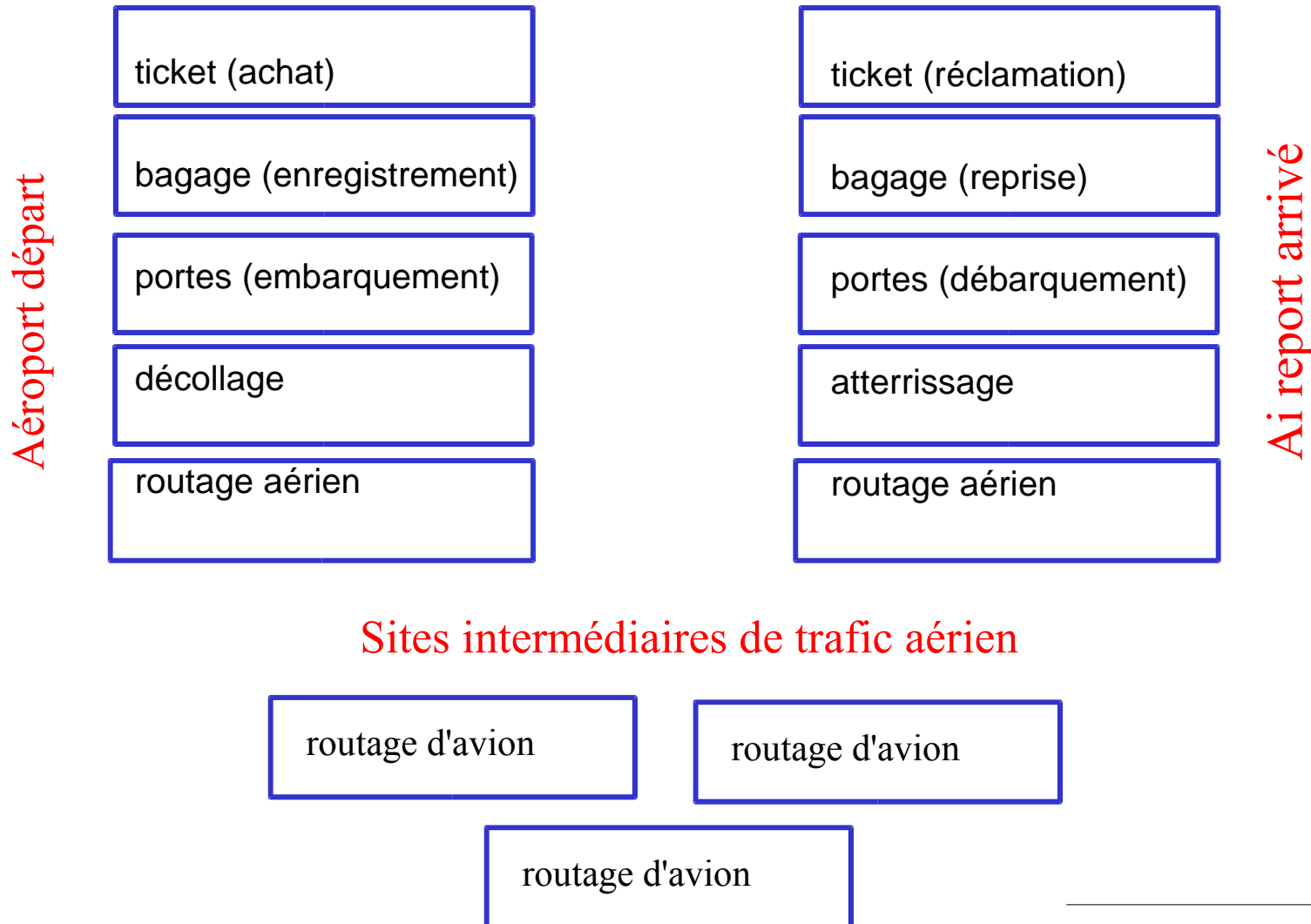
service de bagage enregistrement *vers* service de demande bagage

transfert de personne : porte d'emb. *vers* porte de déb.

transfert d'avion : piste de départ *vers* piste arrivée

routage effectif d'avions du départ à l'arrivée

Impl. distribuée des fonctionnalités en couches



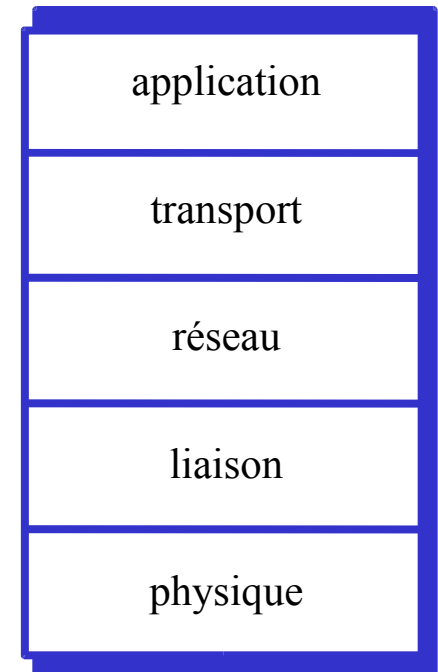
Pourquoi le modèle en couches ?

Travailler avec des systèmes complexes :

- La structure explicite permet une meilleure identification des relations entre les éléments des systèmes complexes
- La modularité facilite la mise au point, la mise-à-jour du système
 - Le changement dans l'implémentation du service d'une couche est transparent pour le reste du système
 - ex. : le changement dans la procédure d'embarquement n'affecte pas le reste du système

La pile des protocoles Internet

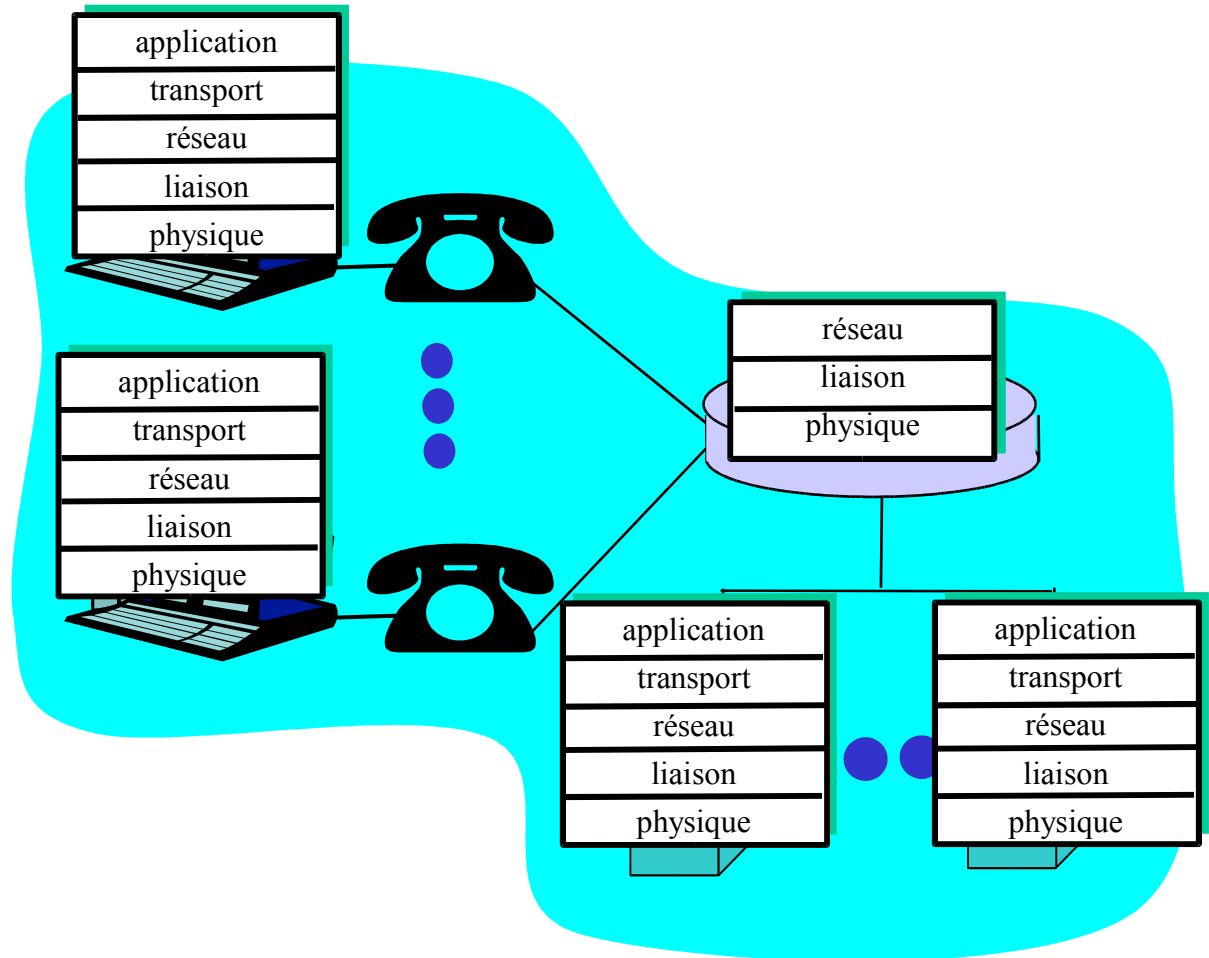
- **Application** : implémente les applications réseau
 - FTP, SMTP, STTP
- **Transport** : transfert de données de machine à machine
 - TCP, UDP
- **Réseau** : routage des datagrammes de l'émetteur au destinataire
 - IP, routing protocols
- **Liaison** : transfert de données entre éléments voisin dans le réseau
 - PPP, Ethernet
- **Physique** : bits “sur le fil”



Modèle en couches : *communication logique*

Chaque couche :

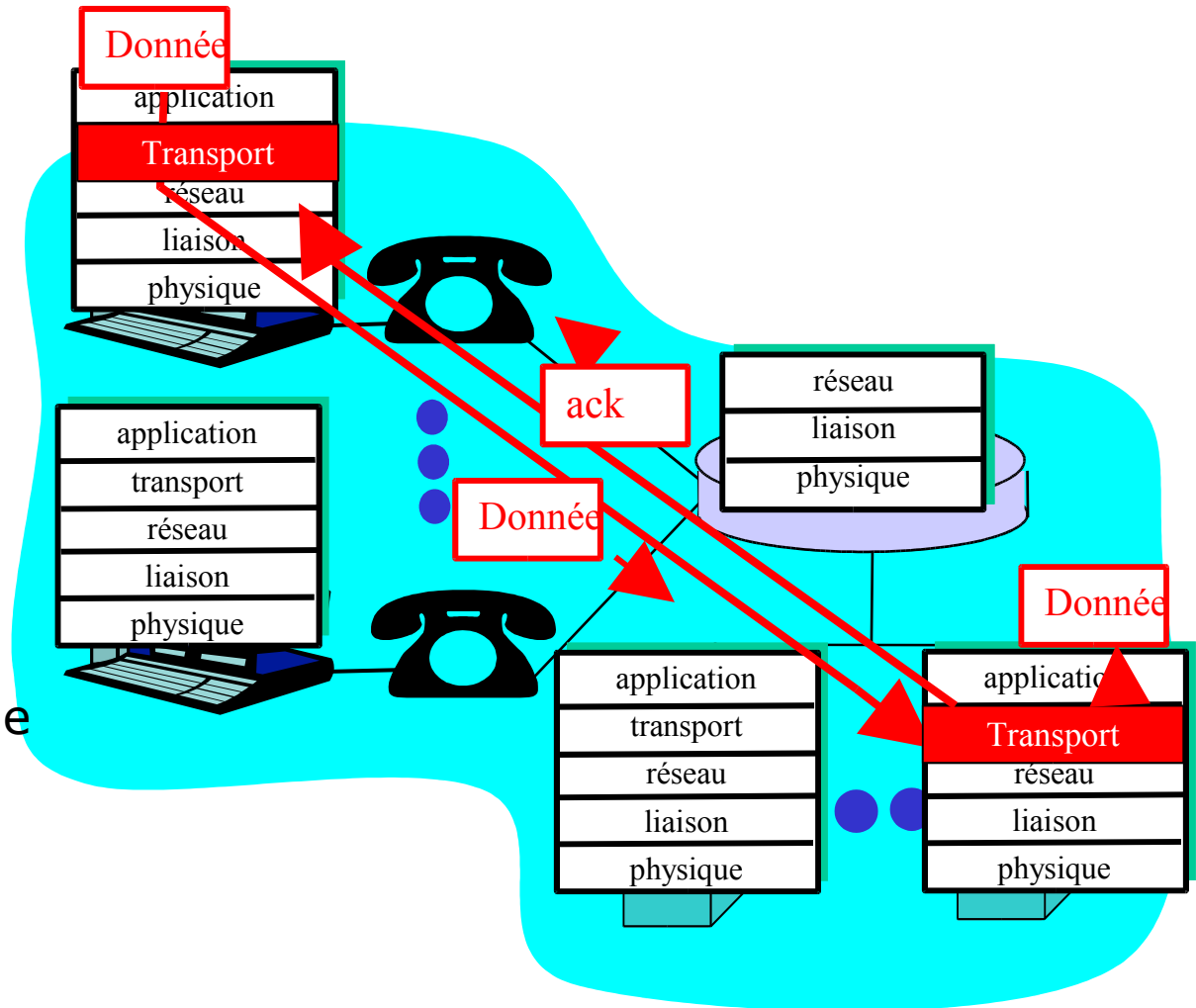
- ♦ Est distribuée
- ♦ Les “entités” implémentent les fonctions de la couche à chaque noeud
- ♦ Les entités exécutent des actions, échangent des messages avec leur correspondants



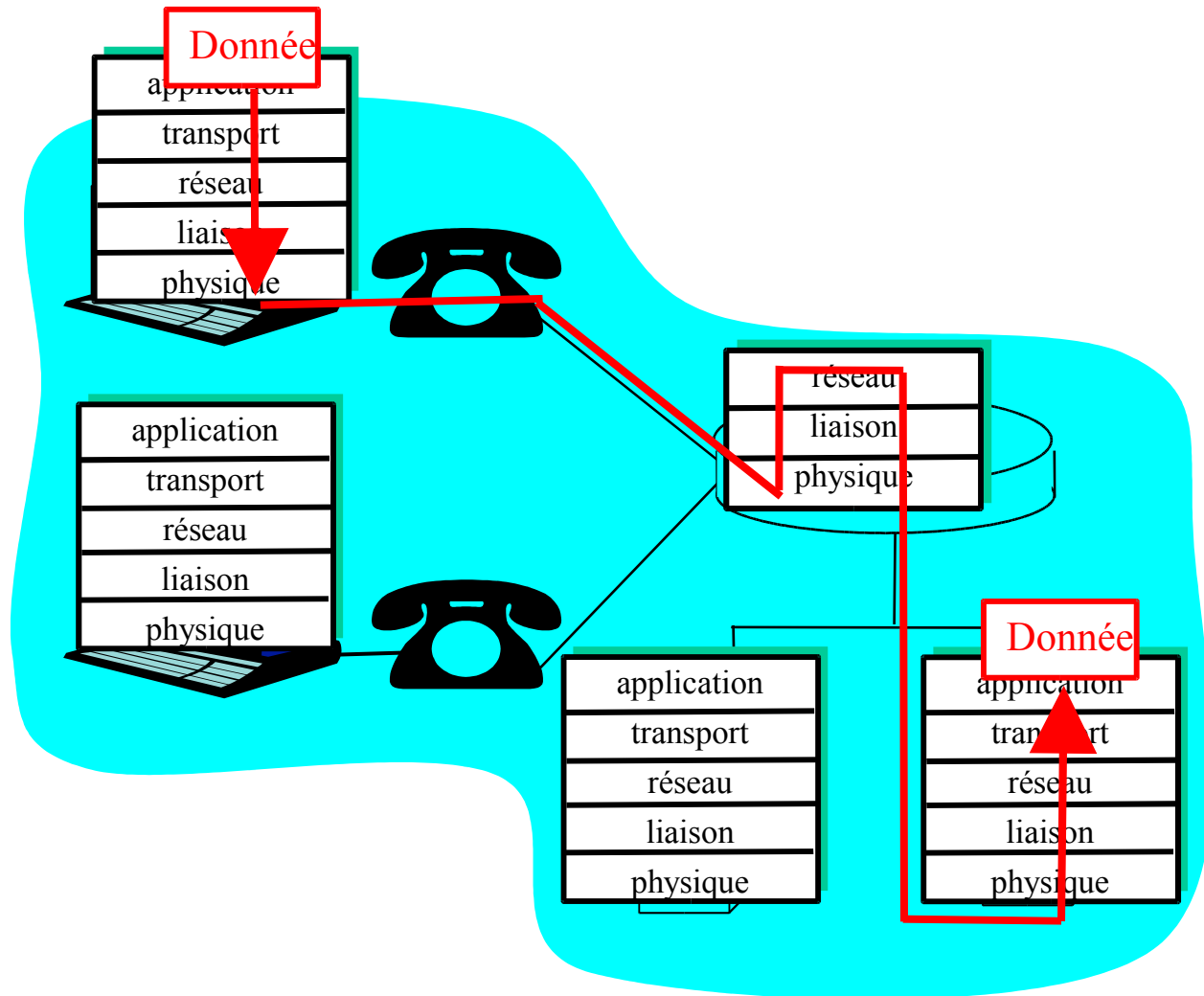
Modèle en couches : *communication logique*

ex. : transport

- Recevoir données depuis app
- Former le "datagramme" en ajoutant les infos d'adressage, de contrôle de fiabilité
- Envoyer le datagramme au correspondant
- Attendre son acquittement
- Analogie : bureau de poste



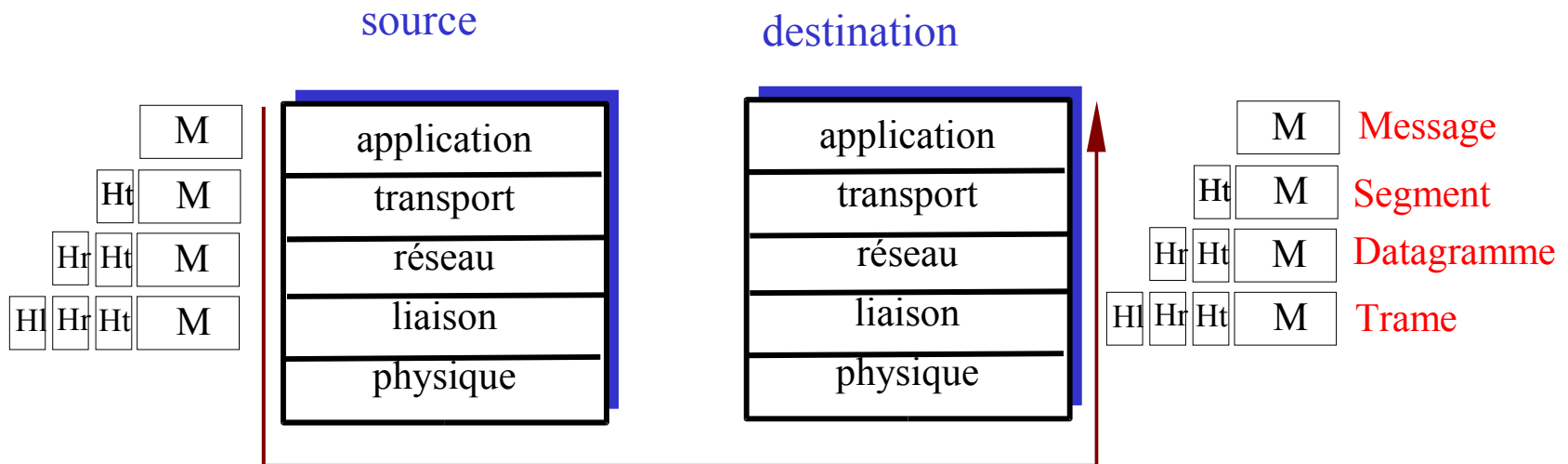
Modèle en couches : *communication physique*



Protocole à couche et données

Chaque niveau reçoit ses données du niveau supérieur

- ajoute des informations d'en-tête pour créer une nouvelle unité de données
- transfère la nouvelle unité de données au niveau inférieur



Histoire de l'Internet

1961-1972: Premier principe de commutation de paquets

- ♦ **1961** : Kleinrock – la théorie de file d'attente montre l'efficacité de la commutation de paquets
- ♦ **1964** : Baran – la commutation de paquets dans les réseaux militaires
- ♦ **1967** : ARPAnet convaincu par Advanced Research Projects Agency
- ♦ **1969** : premier noeud opérationnel de ARPAnet
- ♦ **1972** :
 - ♦ ARPAnet montré au public
 - ♦ NCP (Network Control Protocol) premier protocole de machine à machine
 - ♦ premier programme de courrier électronique
 - ♦ ARPAnet a 15 noeuds

Histoire de l'Internet

1972-1980: Inter-réseaux et nouveaux réseaux propriétaires

- ♦ 1970 : ALOHAnet réseau satellitaire à Hawaii
- ♦ 1973 : Metcalfe propose Ethernet dans sa thèse de doctorat
- ♦ 1974 : Cerf et Kahn - architecture pour connecter des réseaux
- ♦ fin 70 : architectures propriétaires : DECnet, SNA, XNA
- ♦ fin 70 : commutation de paquets à taille fixe (précurseur de l'ATM)
- ♦ 1979 : ARPAnet a 200 noeuds

Principes de Cerf et Kahn pour l'inter-connexion des réseaux :

- ♦ Minimalité, autonomie – pas de changements internes requis pour inter-connecter des réseaux
- ♦ Modèle du service *meilleur effort*
- ♦ Routeurs *stateless*
- ♦ Contrôle décentralisé

définissent l'architecture de l'Internet actuel

Histoire de l'Internet

1980-1990: nouveaux protocoles, prolifération des réseaux

- ♦ 1983 : déploiement de TCP/IP
- ♦ 1982 : définition du protocole e-mail : SMTP
- ♦ 1983 : définition de la traduction nom-adresse-IP : DNS
- ♦ 1985 : définition du protocole FTP
- ♦ 1988 : implémentation du contrôle de congestion dans TCP
- ♦ nouveaux réseaux nationaux : Cset, BITnet, NSFnet, Minitel

Histoire de l'Internet

1990, 2000's: commercialisation, le Web, nouvelles applis.

- ♦ début 1990 : ARPAnet mis de côté
- ♦ 1991 : NSF lève les restrictions sur l'utilisation commerciale de NSFnet (mis de côté en 1995)
- ♦ début 1990s: Web
 - ♦ hypertext [Bush 1945, Nelson 1960]
 - ♦ HTML, HTTP: Berners-Lee
 - ♦ 1994 : Mosaic, devenu Netscape
 - ♦ fin 1990 : commercialisation du Web
- ♦ fin 1990 – nos jours :
 - ♦ plus d'applis : messagerie instantannée, peer2peer : partage de fichiers (ex. Napster)
 - ♦ sécurité des réseaux au premier rang
 - ♦ est. des centaines de millions d'utilisateurs
 - ♦ liens *backbones* tournant à des Gbps

Introduction : résumé

- ♦ Point couverts dans ce chapitre :
 - ♦ Vue d'ensemble de l'internet
 - ♦ Qu'est ce qu'un protocole
 - ♦ Vision frontalière et noyau du réseau
 - ♦ Commutation de circuit / commutation de paquet
 - ♦ Performance : perte et retard
 - ♦ Modèle couches et services
 - ♦ Histoire

La suite ?

Couche Application