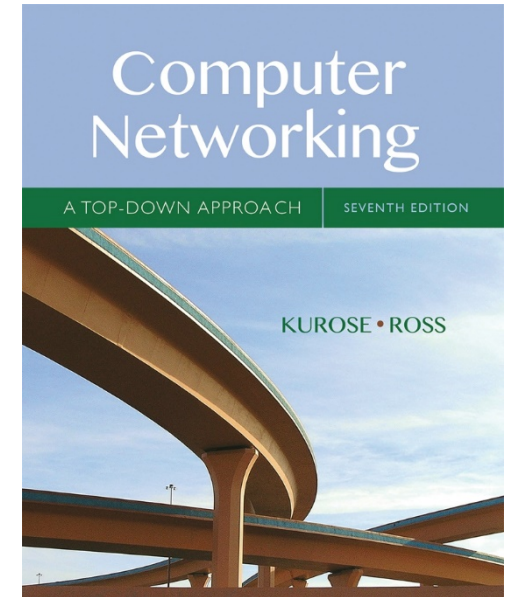


Chapitre I

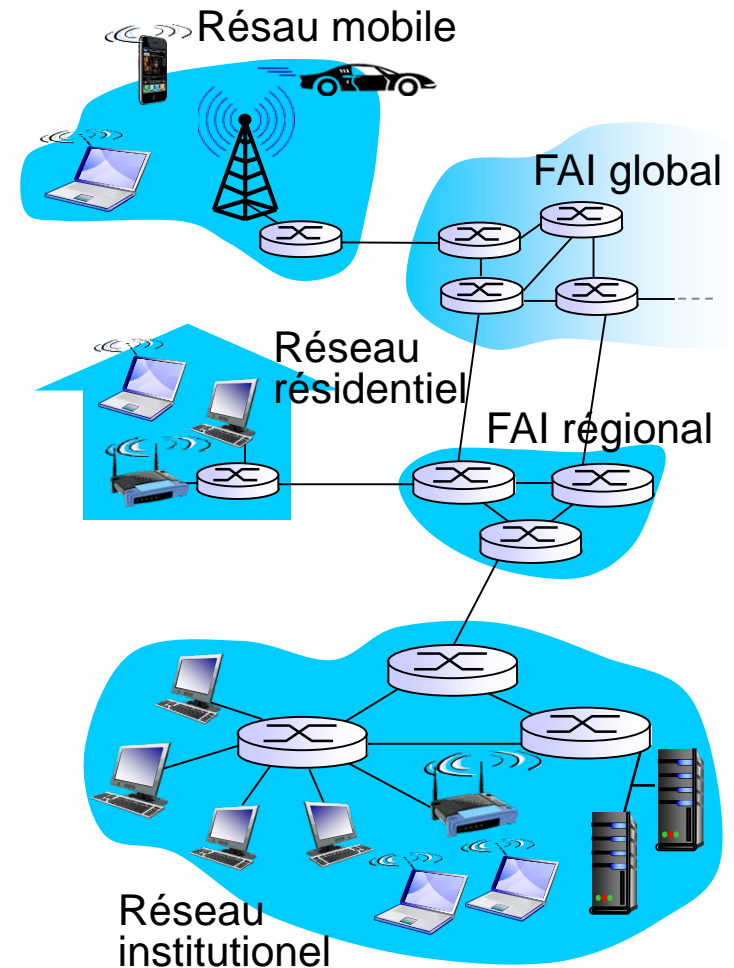
Introduction (suite)



*Computer
Networking: A Top
Down Approach*
7ème édition
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley
2017

Rappel

- ❖ L'Internet = réseau des réseaux
 - Vue concrète
 - Vue fonctionnelle
- ❖ Terminologie
 - Protocole
 - Terminal
 - Client/serveur
 - Liens
- ❖ L'Internet = réseaux d'accès + réseau d'infrastructure



Chapitre I: 2ème partie

I.3 réseau d'infrastructure

- commutation de paquets,
- commutation de circuits,
- structure du réseau

I.4 délai, perte, débit dans les réseaux

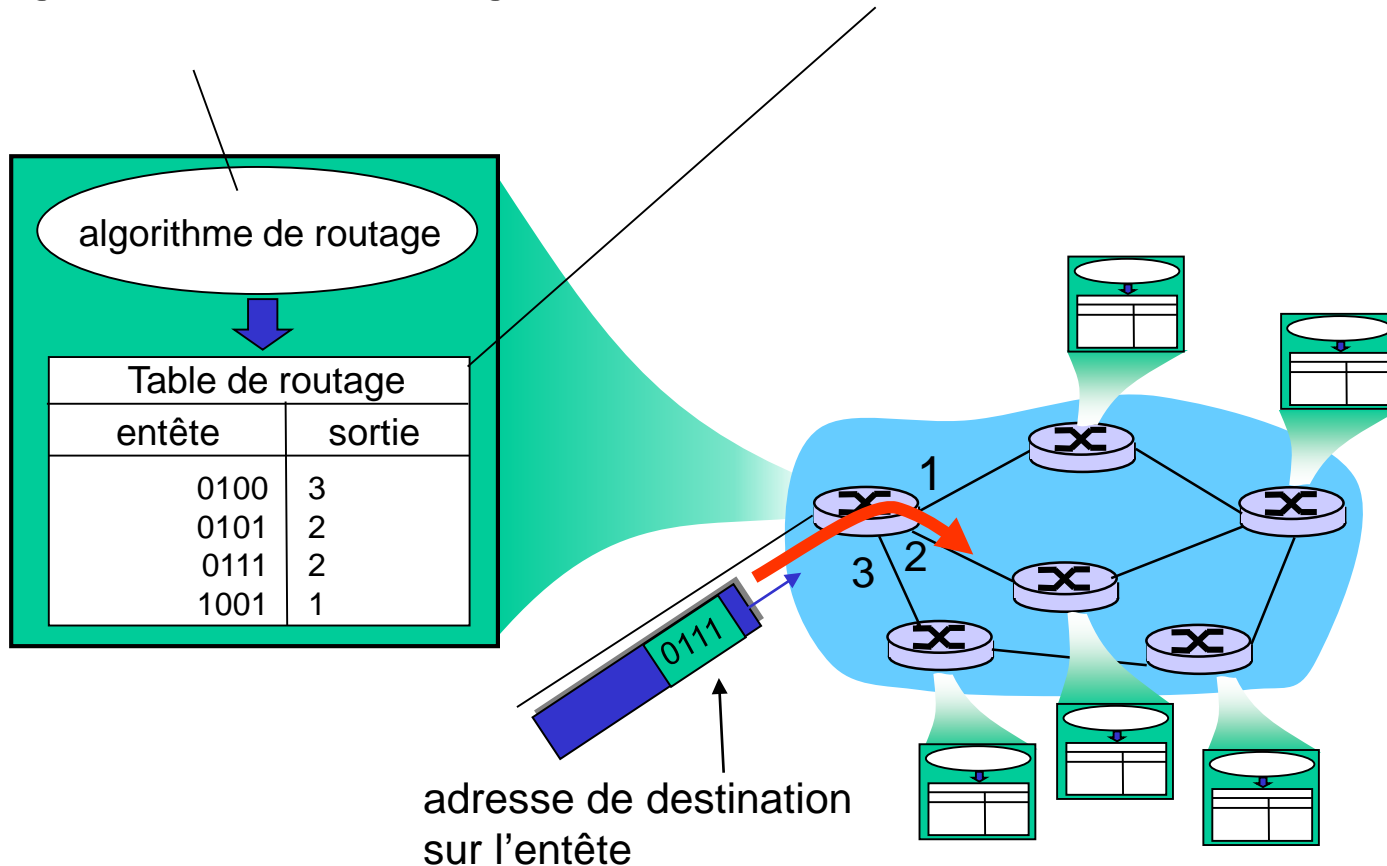
I.5 Modèle en couches

Commutation de paquets : acheminement

routing: déterminer les routes entre sources et destinations

- *algorithmes de routage*

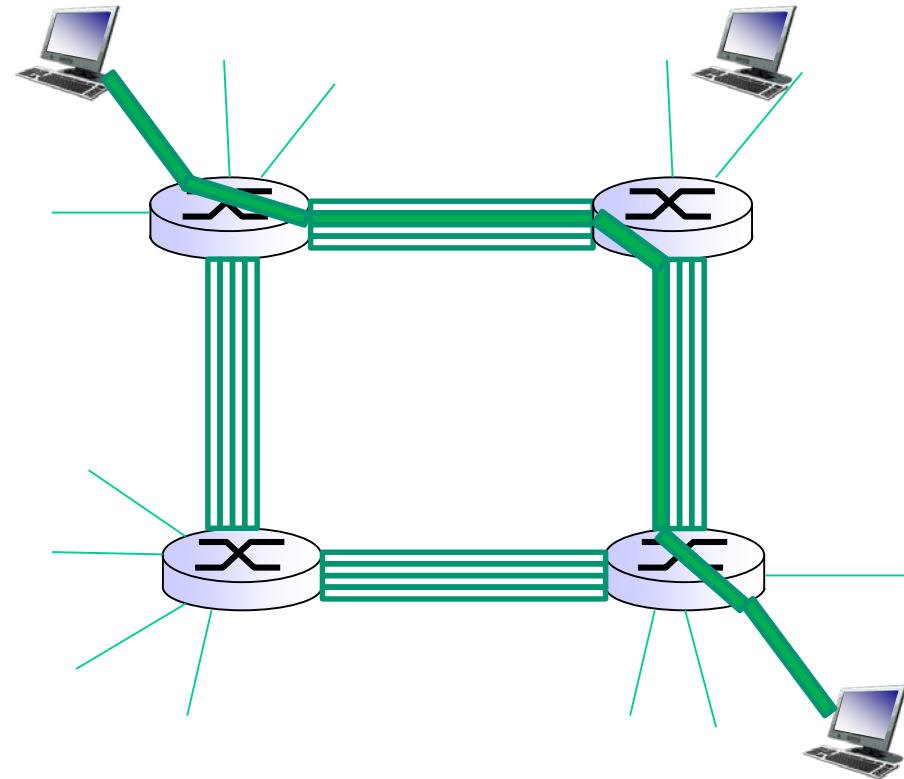
Acheminement: passer les paquets de l'entrée vers la bonne sortie



Commutation de circuits

Réservation des ressources de bout en bout pour la durée de l'<appel> :

- ❖ chaque lien possède quatre circuits
 - l'appel prend le circuit 2 en haut et le circuit 1 à droite.
- ❖ ressources dédiées
 - pas de partage
 - performances garanties
- ❖ un segment du circuit reste non utilisé si libre
- ❖ besoin d'établissement de connexion

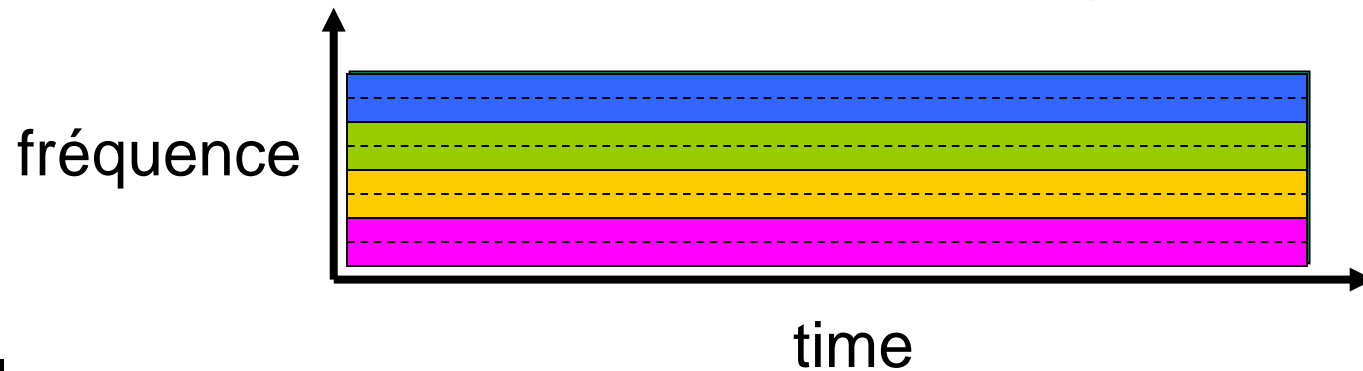


Commutation de circuits: FDM vs. TDM

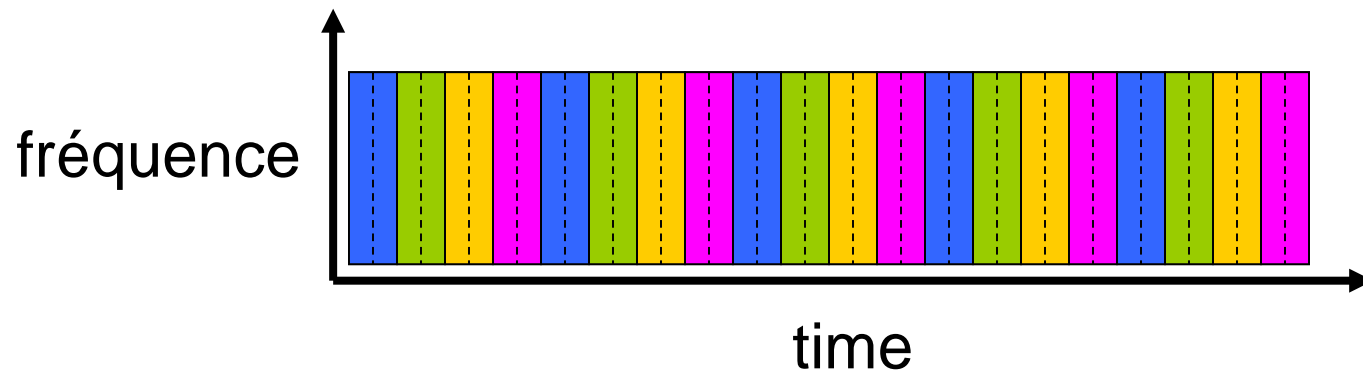
FDM

Example:

4 usagers ■ ■ ■ ■



TDM



Exemple

Quelle est la **durée** nécessaire pour transmettre **640,000 bits** de A vers B sur un réseau à **commutation de circuits**?

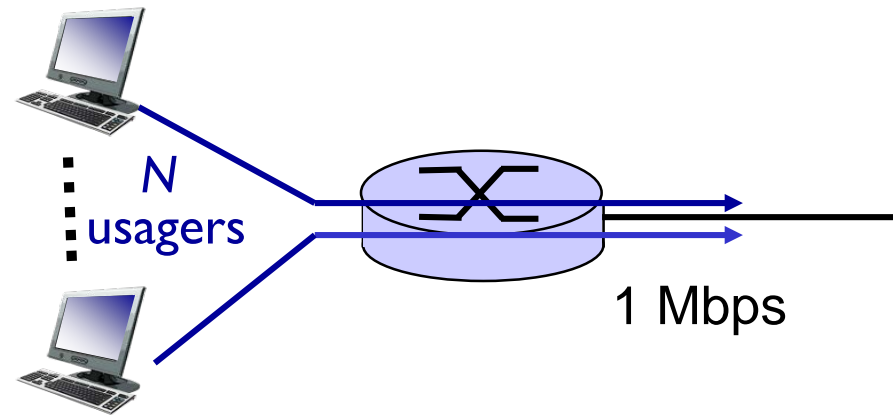
- ❖ Tous les liens sont à **1.536 Mbps**
- ❖ Chaque lien utilise **TDM** avec **24 slots/sec**
- ❖ **500 msec** pour établir un circuit

Commutation: Paquet vs. Circuit

Commutation de paquets permet plus d'utilisateurs dans le réseau!

exemple:

- lien à 1 Mb/s
- chaque utilisateur:
 - 100 kb/s si “actif”
 - actif pendant 10% du temps



❖ *Commutation de circuits:*

- 10 utilisateurs

❖ *Commutation de paquets:*

- avec 35 utilisateurs
- probabilité > 10 actifs en même temps est moins que 0.0004

Commutation: Paquet vs. Circuit

Est-ce que la commutation de circuits est déjà “KO?”

- ❖ Très bonne pour le trafic sporadique
 - Partage efficace de ressources
 - Plus simple, pas d'établissement de connexion
- ❖ **congestion excessive possible:** délai et perte
 - Besoin de protocoles pour un transfert fiable de données, contrôle de congestion

Q: Comment imiter une commutation de circuits?

- certaines applications ont besoin de garantie de bande passante
- un grand défi de recherche

Q: analogies avec la vie quotidienne?

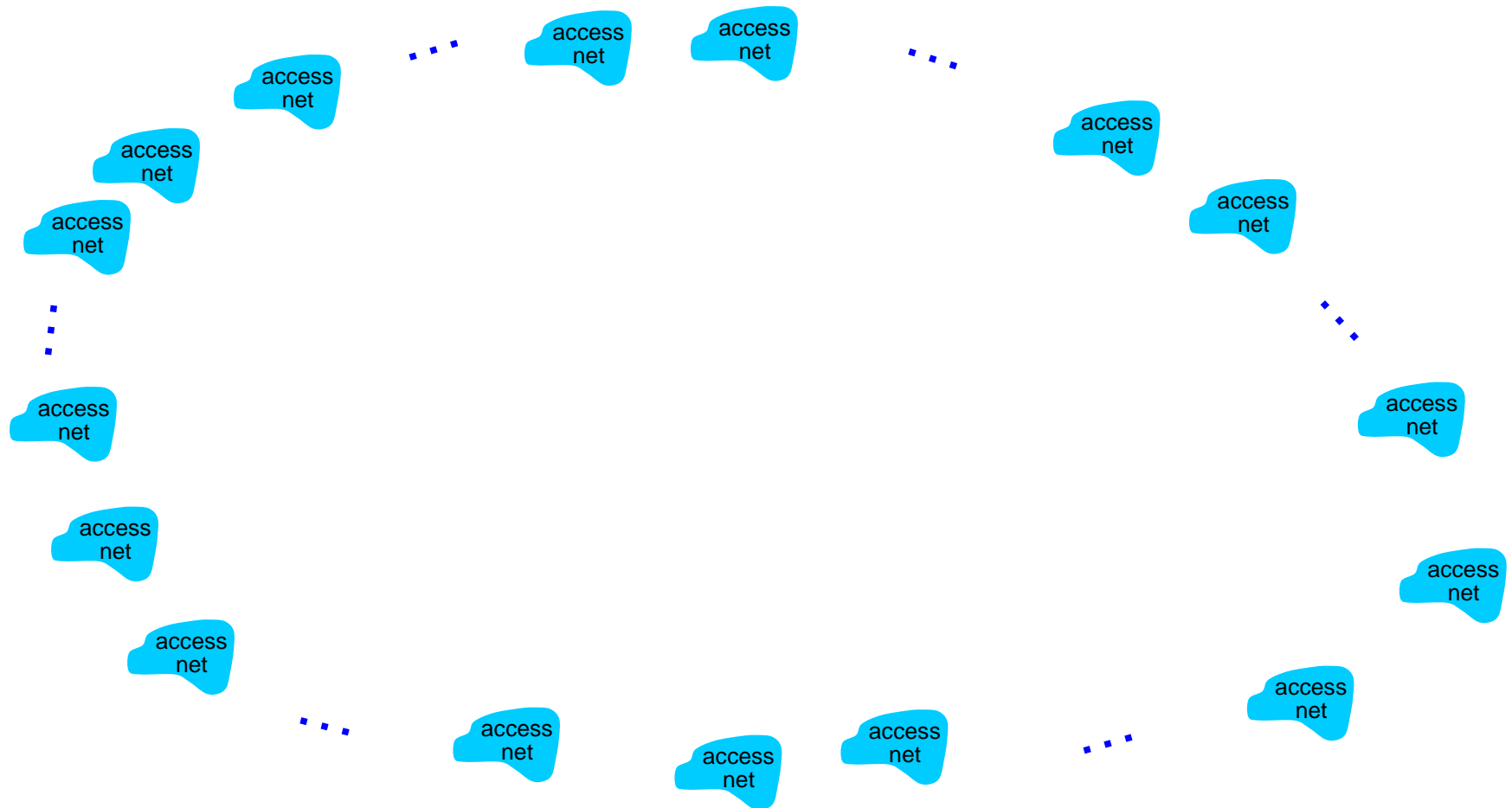
Structure d'Internet : réseau des réseaux

- ❖ Les terminaux se connectent à l'Internet via **FAls d'accès**
 - Résidentiels ou institutionnels
- ❖ Les FAls d'accès doivent à leurs tour être interconnectés
 - Pour que n'importe quels deux terminaux puissent communiquer
- ❖ Ceci donne naissance à un réseau de réseaux « complexe »
 - Evolution pour des raisons politiques et économiques

- ❖ Voyons de plus près cette structure

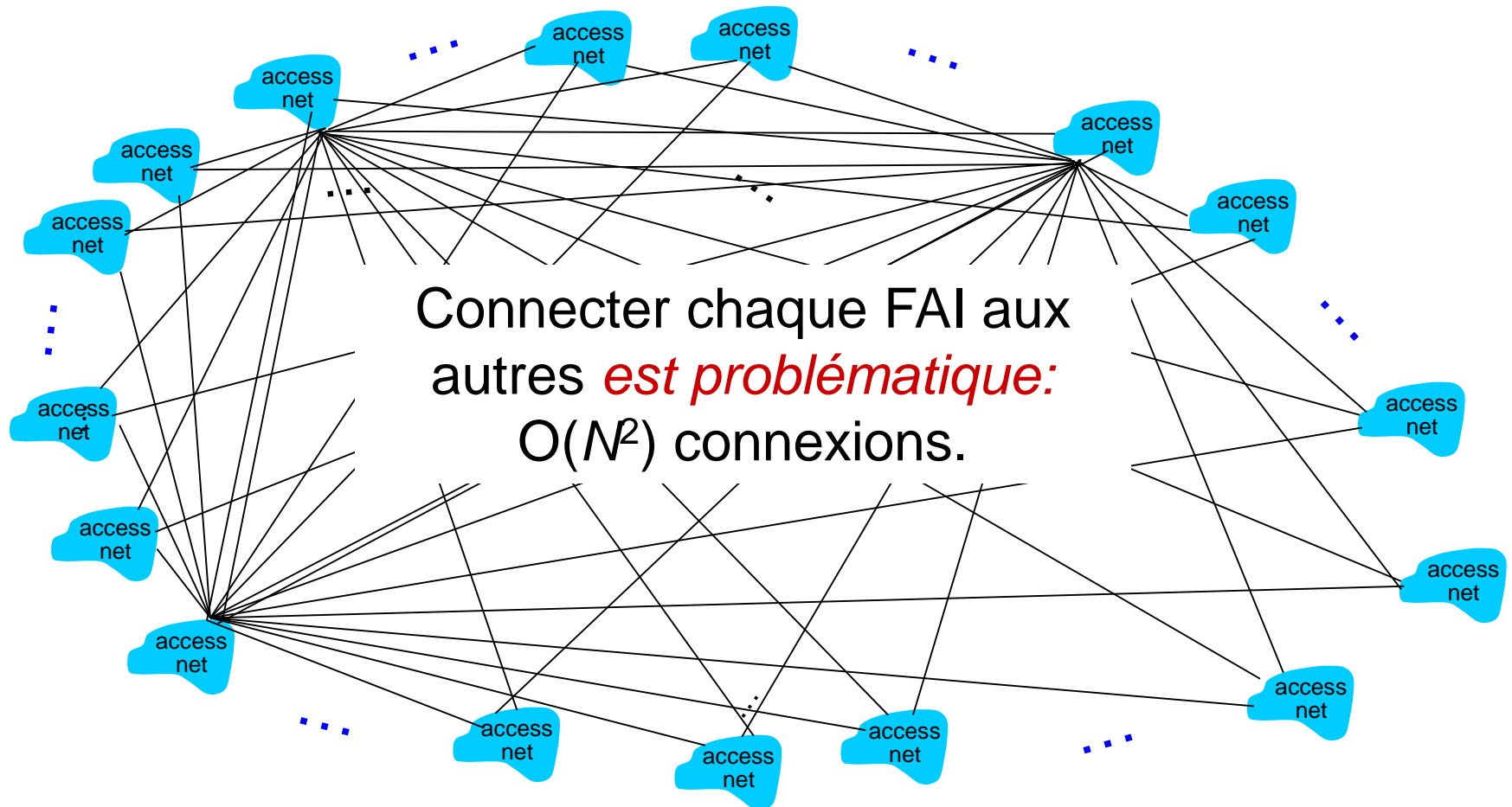
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Question: Comment interconnecter les FAIs?



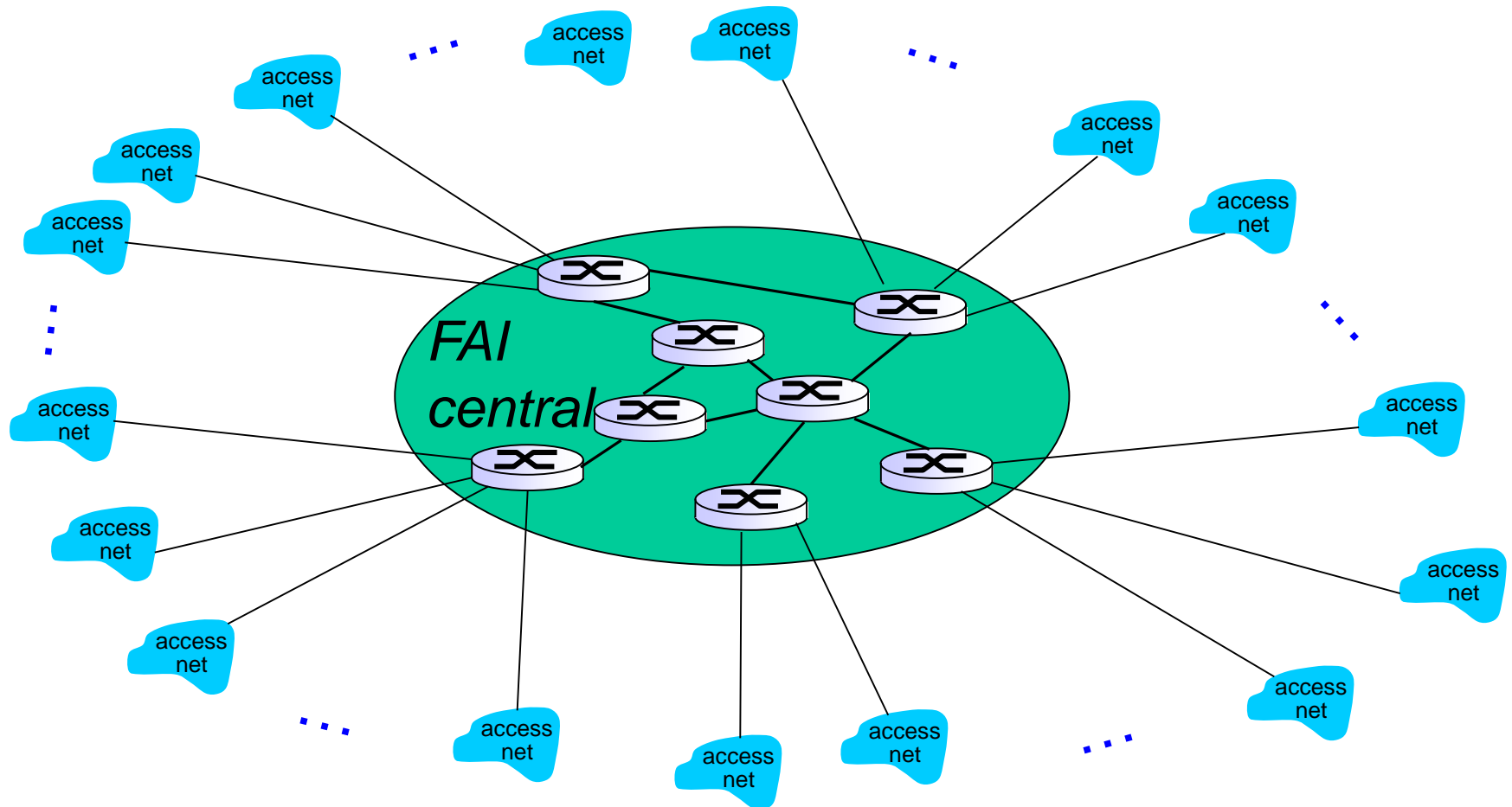
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Question: Comment interconnecter les FAIs?



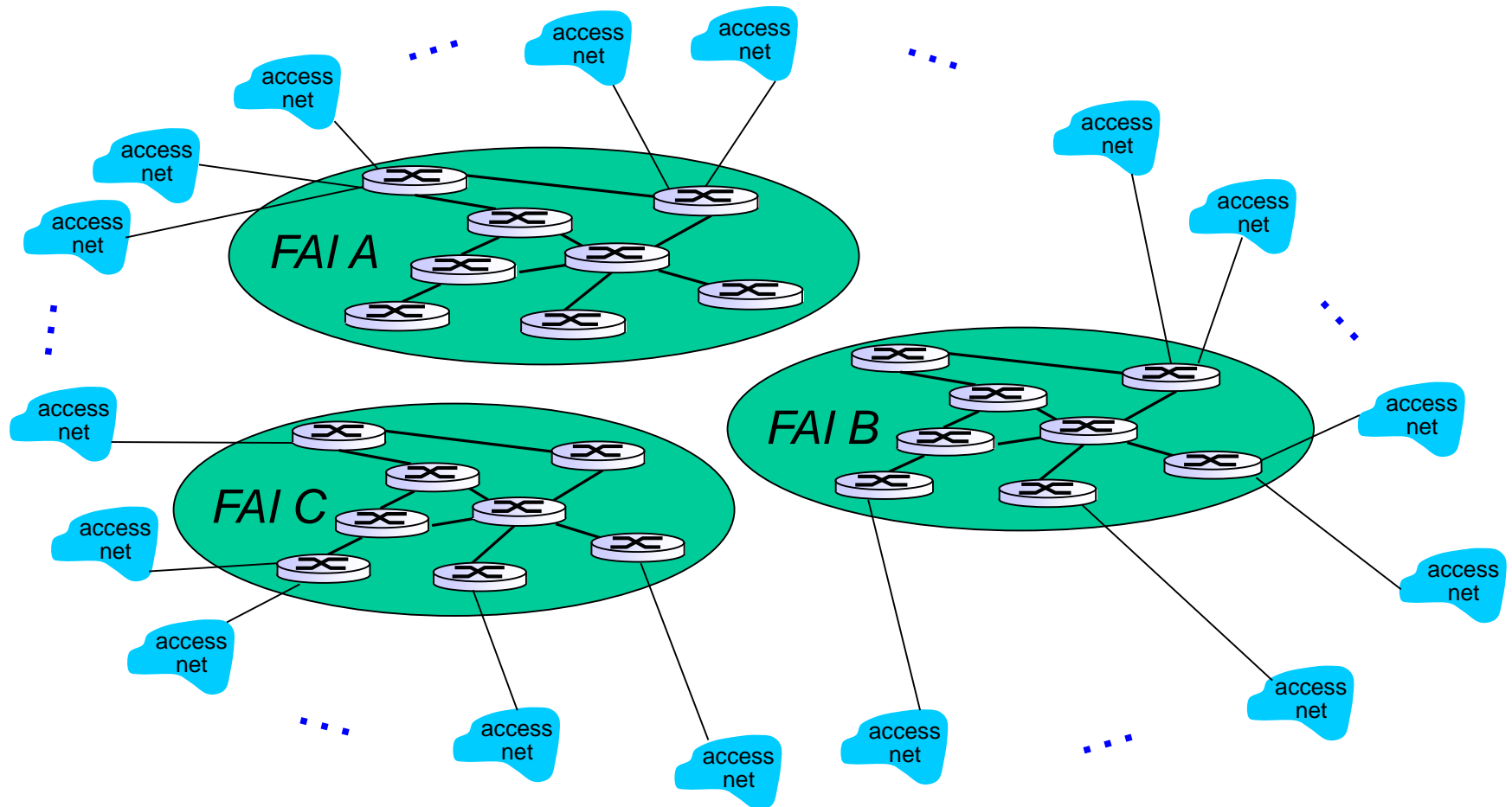
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Option: connecter chaque FAI d'accès à un FAI central? Une relation de client (d'accès) / fournisseur (central).



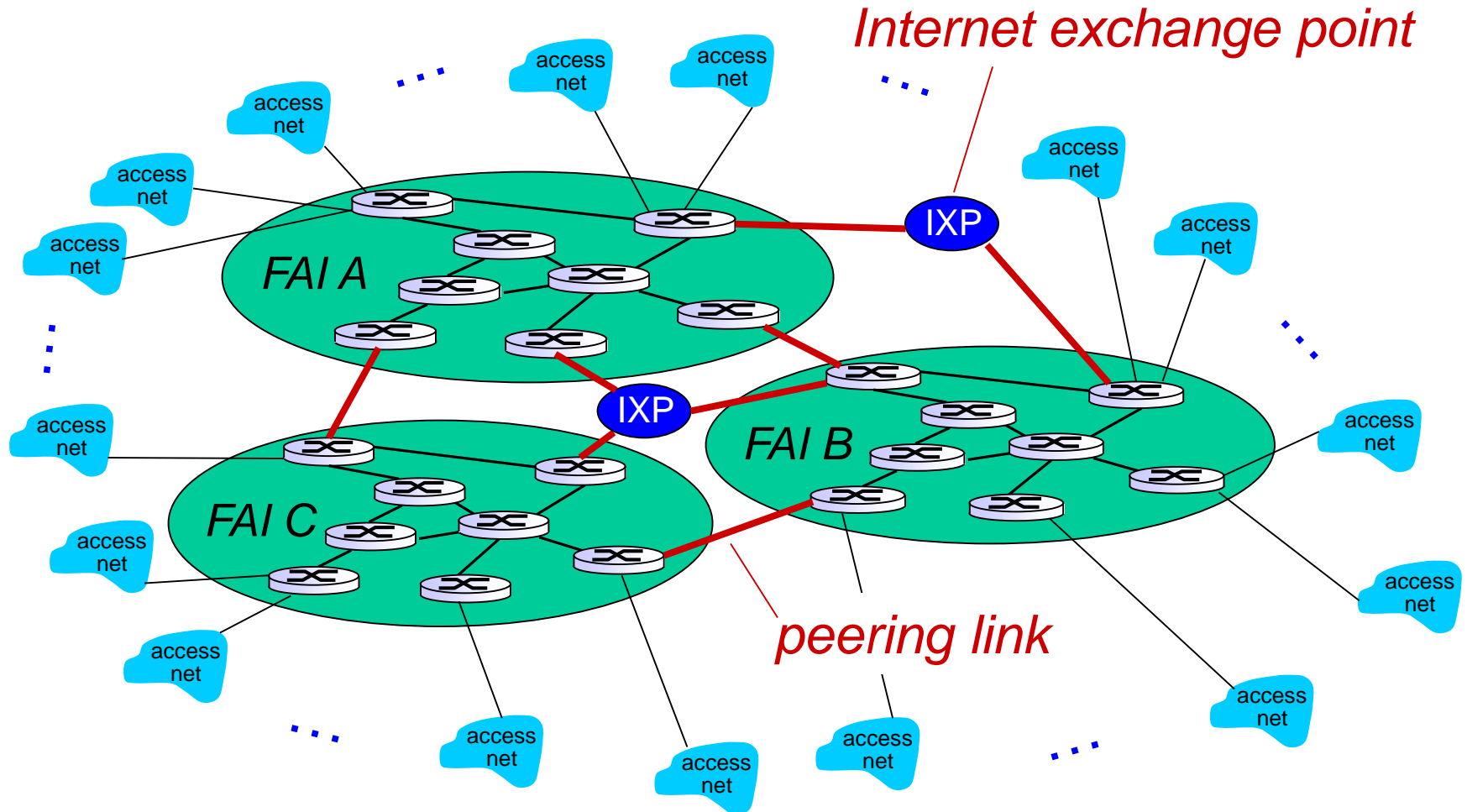
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Le capitalisme ne permet pas d'avoir un seul FAI central...



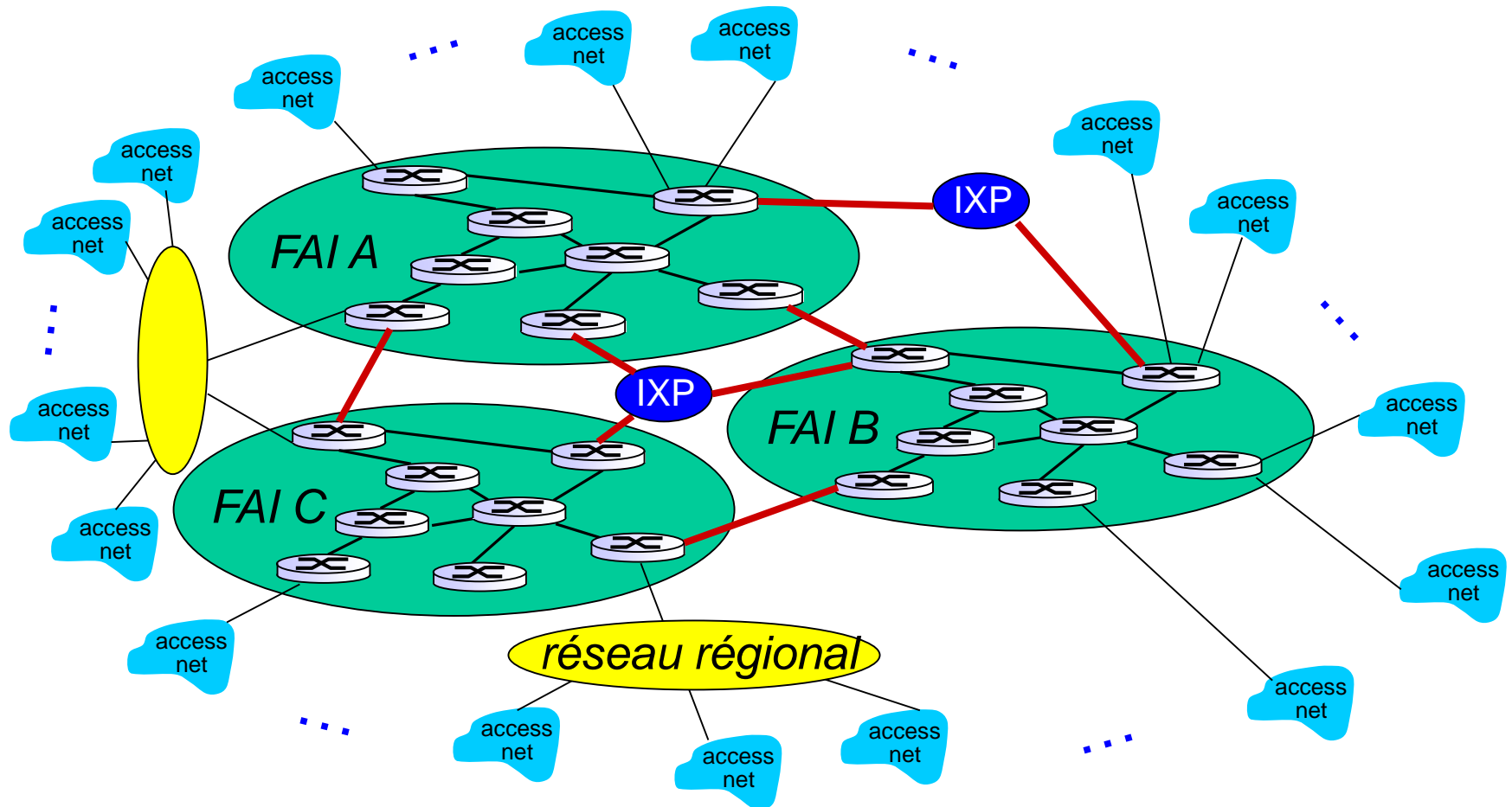
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Les FAIs “centraux” doivent aussi être connectés



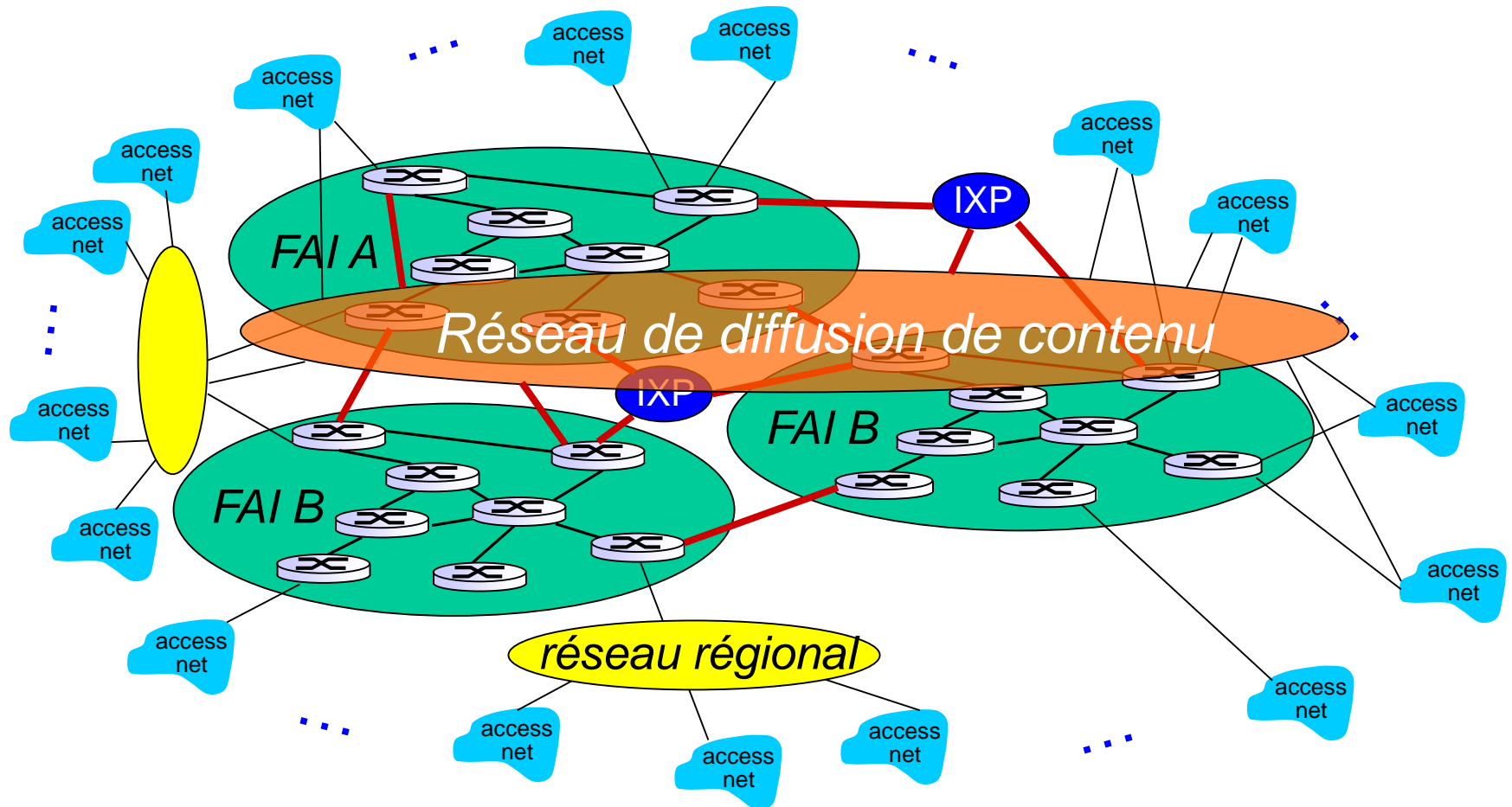
Structure d'Internet : réseau des réseaux

... et des réseaux régionaux peuvent aussi être utilisés pour se connecter aux FAIs globaux

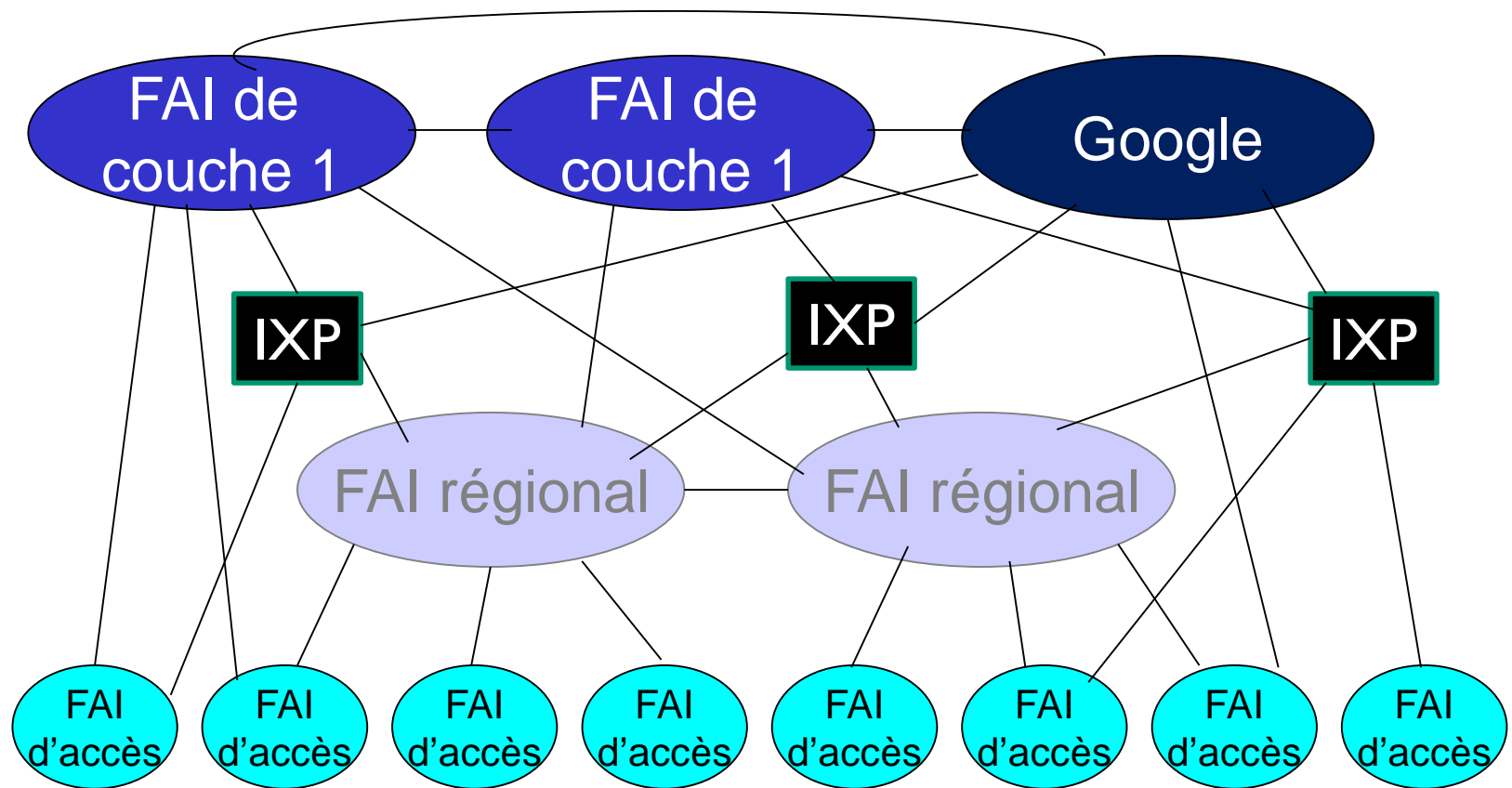


Structure d'Internet : réseau des réseaux

... et des réseaux de diffusion de contenu (e.g., Google, Microsoft) peuvent avoir leurs propres réseaux



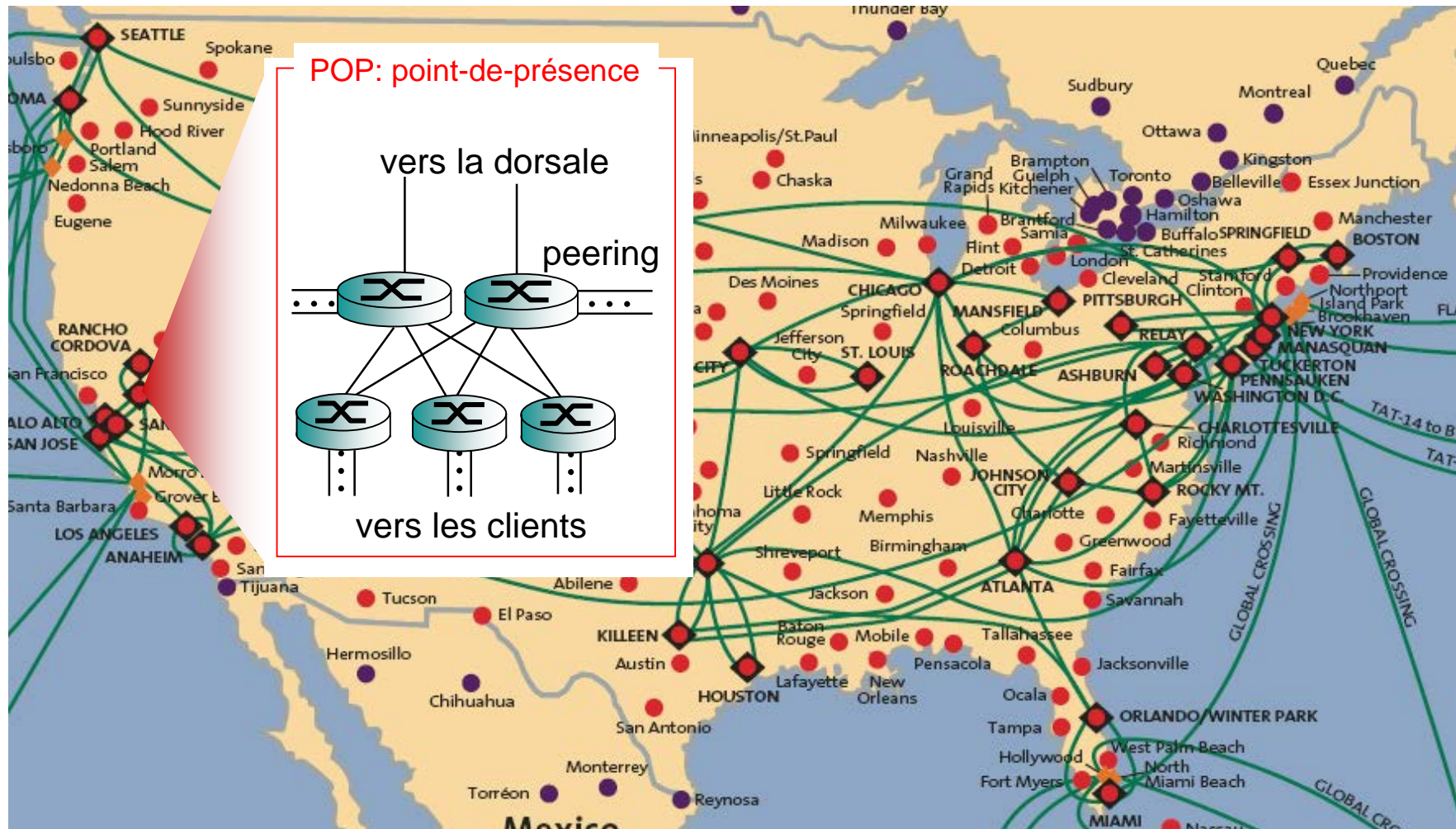
Structure d'Internet : réseau des réseaux



❖ au centre:

- **“couche 1” FAI commerciaux** (ex. Bell, Sprint, AT&T, NTT), couverture nationale & internationale
- **réseau de distribution de contenu** (ex. Google): un réseau privé qui contourne les FAIs de couche 1 et régionaux

FAI de couche I: ex. Sprint



Chapitre 1: 2ème partie

I.3 réseau d'infrastructure

- commutation de paquets,
- commutation de circuits,
- structure du réseau

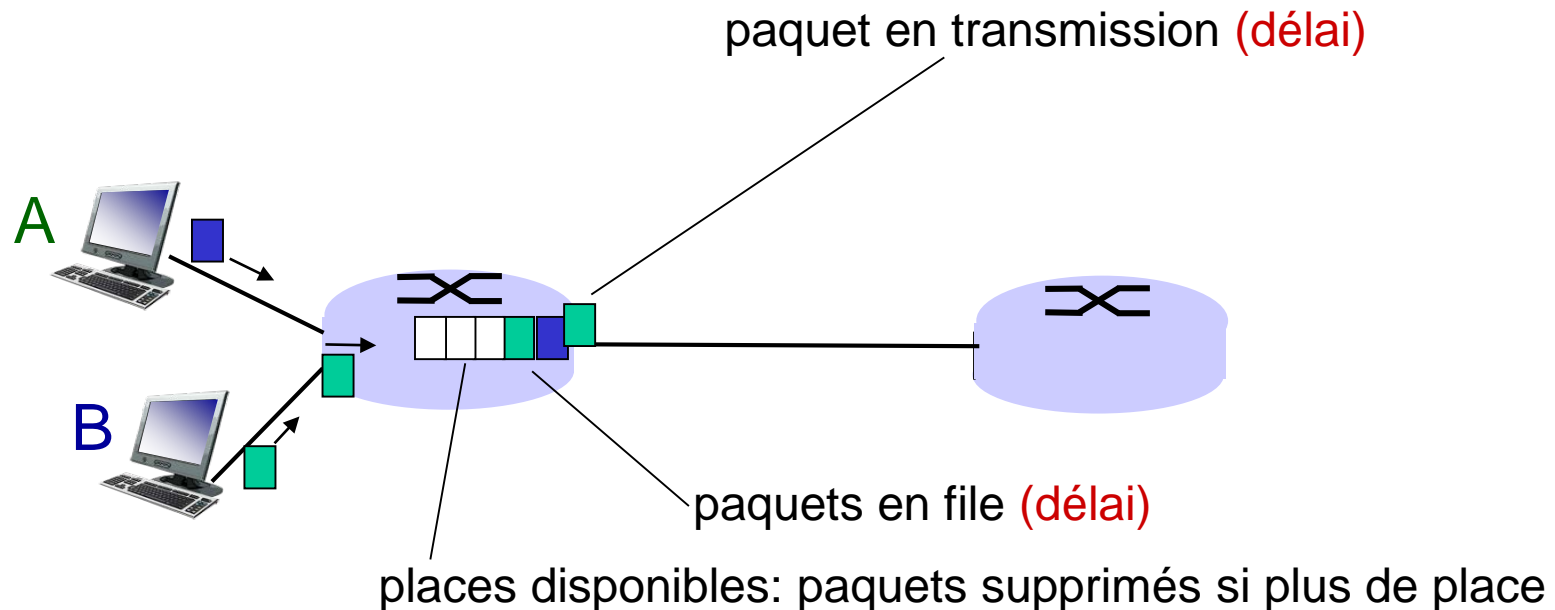
I.4 délai, perte, débit dans les réseaux

I.5 Modèle en couches

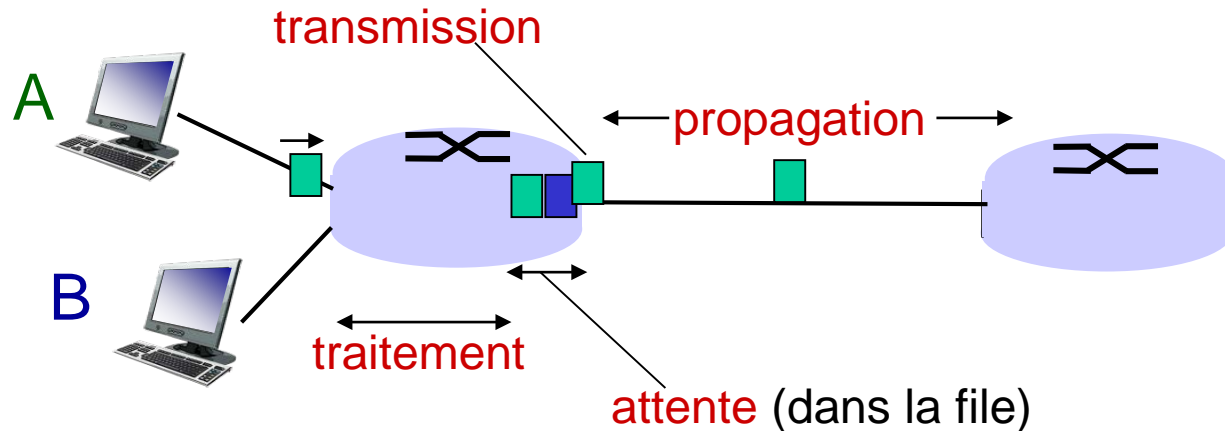
Perte et délai, comment?

Une file de paquets *dans un routeur*

- ❖ **taux d'arrivée des paquets en entrée supérieur à la capacité du lien en sortie**
- ❖ **chaque paquet doit attendre son tour (ex. file PAPS)**



Quatre sources de délai



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

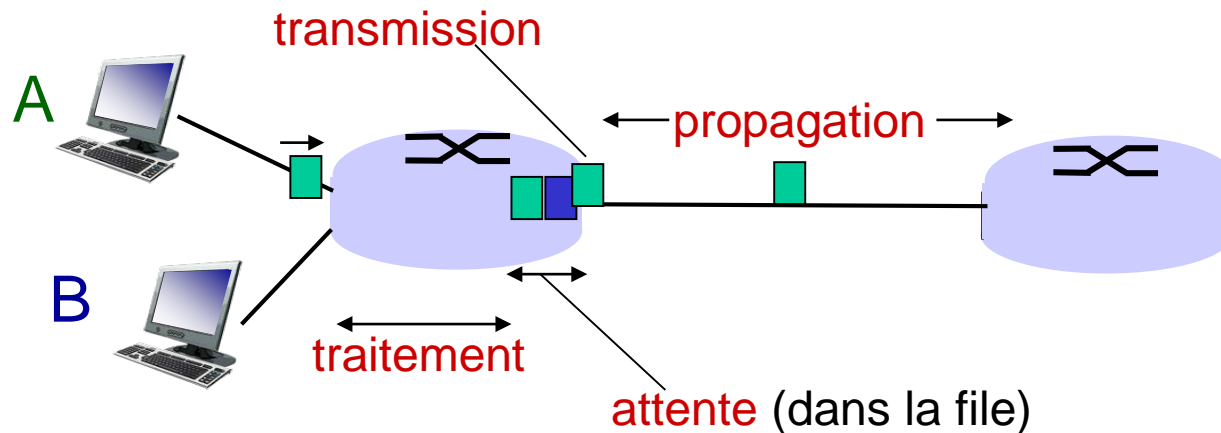
d_{trait} : traitement

- contrôle d'erreurs
- déterminer le lien de sortie
- typiquement $< \text{msec}$

d_{att} : attente dans la file

- temps passé dans la file
- dépend du niveau de congestion du routeur

Quatre sources de délai



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

d_{trans} : transmission:

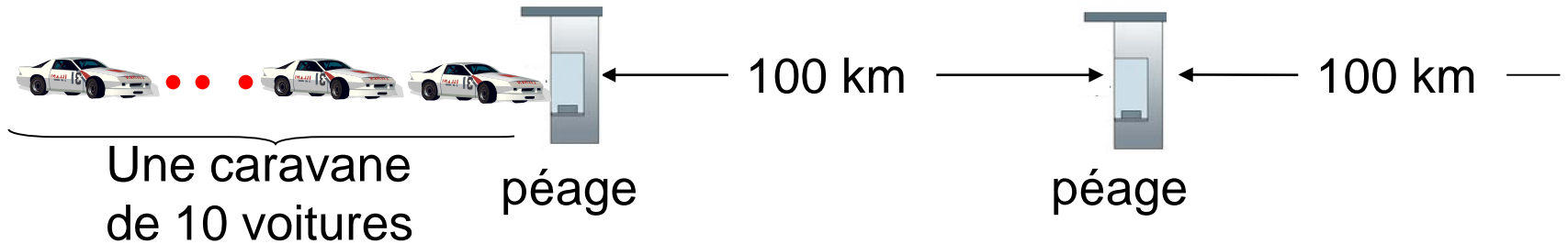
- L : taille du paquet (bits)
- R : débit du lien (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

d_{prop} : propagation:

- d : longueur du lien physique
- s : vitesse de propagation ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

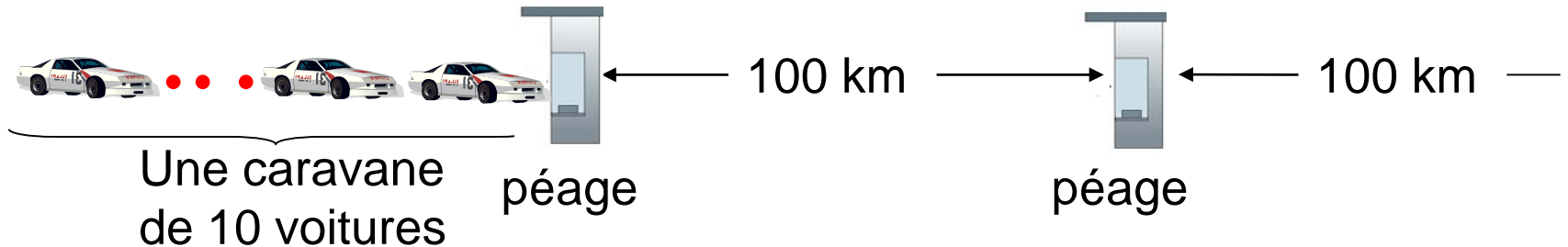
d_{trans} et d_{prop}
très différents

Analogie: Caravane



- ❖ voitures “se propagent” à 100 km/hr
 - ❖ le péage prends 12 sec pour servir une voiture (temps de transmission d’un bit)
 - ❖ voiture~bit; caravane~paquet
 - ❖ **Q: Combien de temps pour que la caravane se met devant le 2ème péage?**
- Temps pour faire sortir la caravane du 1^{er} péage = $12 * 10 = 120$ sec
 - Temps pour que la dernière voiture arrive au 2ème péage:
 $100\text{km} / (100\text{km/hr}) = 1$ hr
 - **Réponse: 62 minutes**

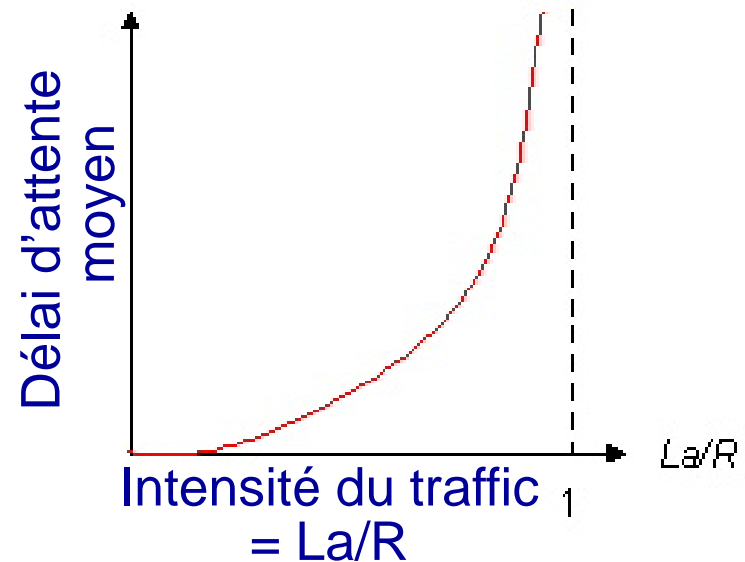
Analogie: Caravane



- ❖ Supposons que les voitures se propagent à 1000 km/hr
- ❖ Et chaque péage prends 1 min pour servir une voiture
- ❖ **Q: Est-ce que des voitures peuvent rester au premier péage alors que d'autres sont au deuxième?**
 - **A: Oui!** Après 7 min, la 1ère voiture arrive au deuxième alors que trois voitures sont encore au premier.

Retour sur le délai d'attente

- ❖ R : débit du lien (bps)
- ❖ L : taille du paquet (bits)
- ❖ a : taux d'arrivée moyen des paquets



- ❖ $\lambda a / R \sim 0$: petit délai d'attente
- ❖ $\lambda a / R \rightarrow 1$: grand délai d'attente
- ❖ $\lambda a / R > 1$: délai d'attente infini!



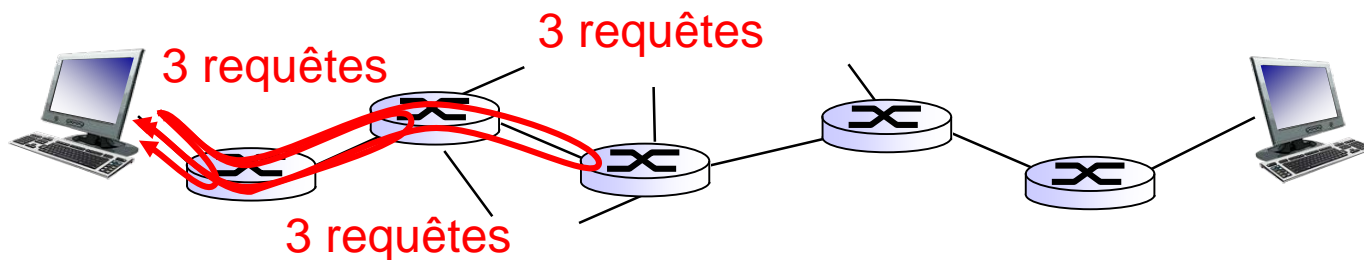
$\lambda a / R \sim 0$



$\lambda a / R \rightarrow 1$

Voyons les délais de plus près


- ❖ programme **traceroute**: fournit des mesures des délais entre la source et les routeurs rencontrés dans la route vers la destination. pour chaque routeur i :
 - envoie trois paquets vers le routeur i
 - routeur i renvoie les paquets à la source
 - la source calcule les temps d'aller-retour.



Voyons les délais de plus près


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

3 mesures entre
gaia.cs.umass.edu et 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
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 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

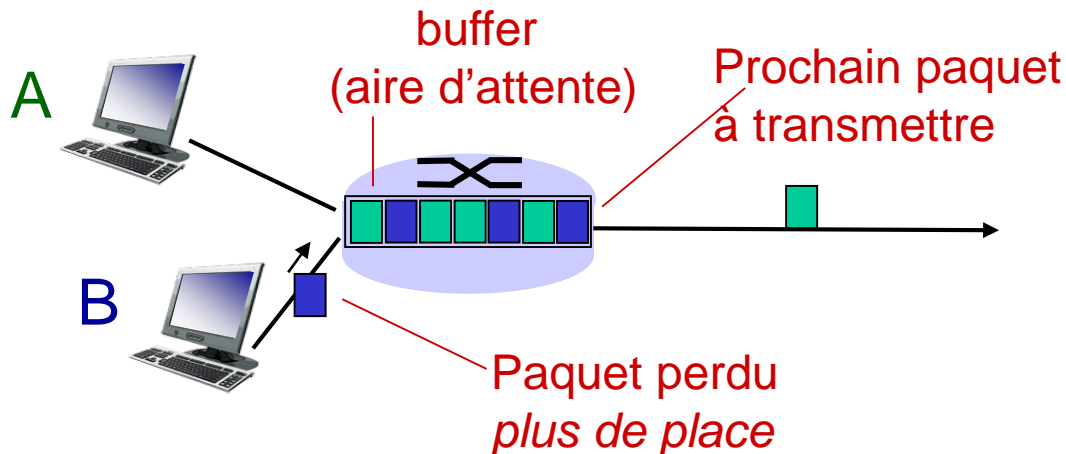
un lien
trans-oceanic



* pas de réponse (requête perdu)

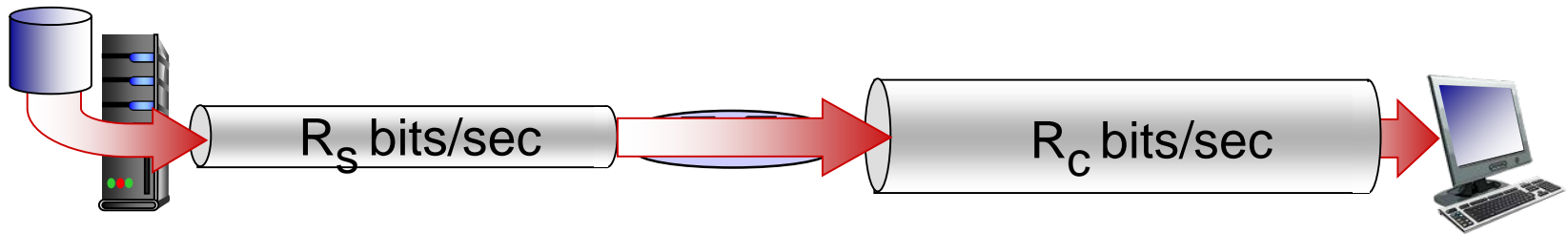
Perte de paquets

- ❖ Une file (buffer) correspondant à un lien a une capacité finie
- ❖ Un paquet qui arrive et trouve la file pleine est supprimé (perdu)
- ❖ Les paquets perdus peuvent être retransmis ou pas

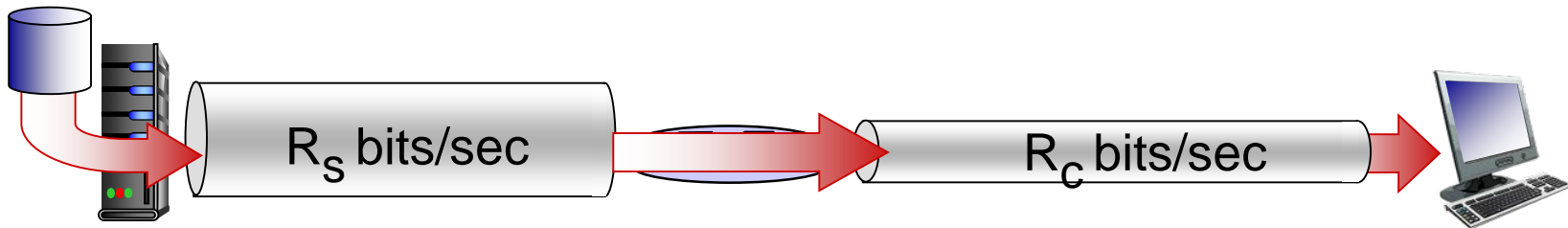


Débit

❖ $R_s < R_c$ Débit moyen de bout en bout?



❖ $R_s > R_c$ Débit moyen de bout en bout?

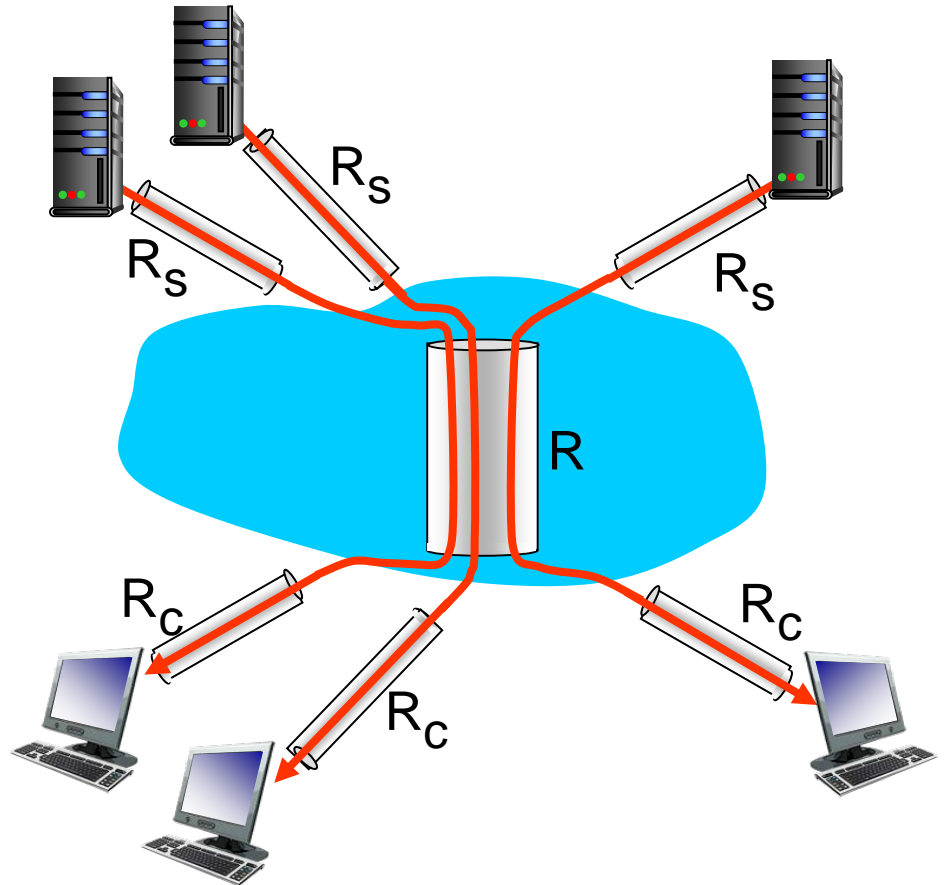


Goulot d'étranglement

Le lien qui limite le débit de bout en bout

Débit: scénario de l'Internet

- ❖ Débit de bout en bout par connexion: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❖ en pratique: R_c ou R_s sont souvent le débit du goulot d'étranglement



10 connexions se partageant une dorsale de R bits/sec

Chapitre I: 2ème partie

I.3 réseau d'infrastructure

- commutation de paquets,
- commutation de circuits,
- structure du réseau

I.4 délai, perte, débit dans les réseaux

I.5 Modèle en couches

Protocoles en “couches”

*Les réseaux sont complexes,
avec pleins de “composantes”*

- terminaux
- routeurs
- liens
- applications
- protocoles
- hardware, software

Question:

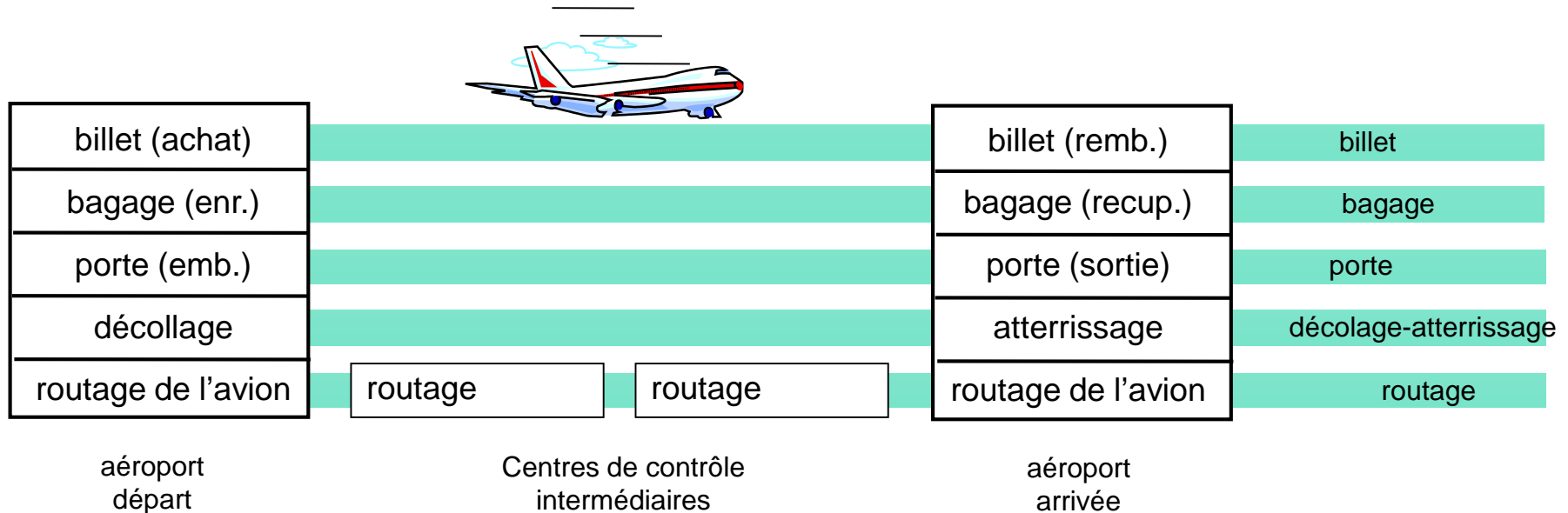
Est-ce qu’il existe une
manière pour simplifier
cette architecture
complexe?

Organisation d'un voyage par avion



❖ Un ensemble d'étapes

Mise en couche



couches: chaque couche implémente un service

- avec ses propres actions
- dépendant des services fournis par les couches adjacentes

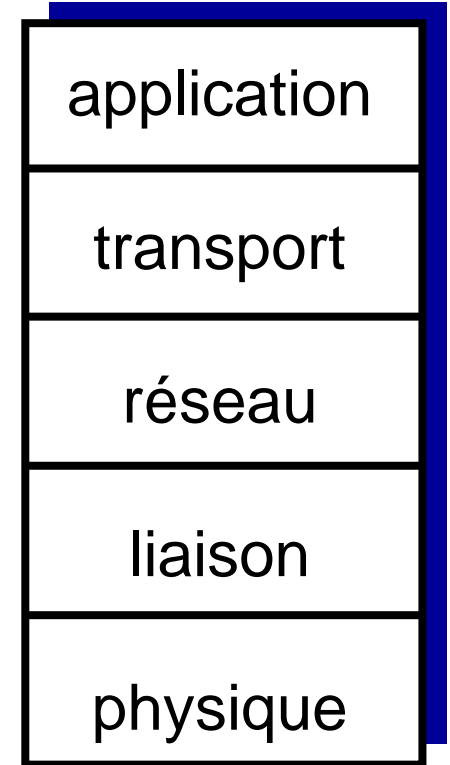
La mise en couche, pourquoi?

Travailler avec des systèmes complexes:

- ❖ Simplifier la structure
- ❖ Modularisation simplifie la maintenance et la mise à jour des systèmes
 - changer l'implémentation d'une couche est transparente aux autres couches
- ❖ La mise en couches dérange?

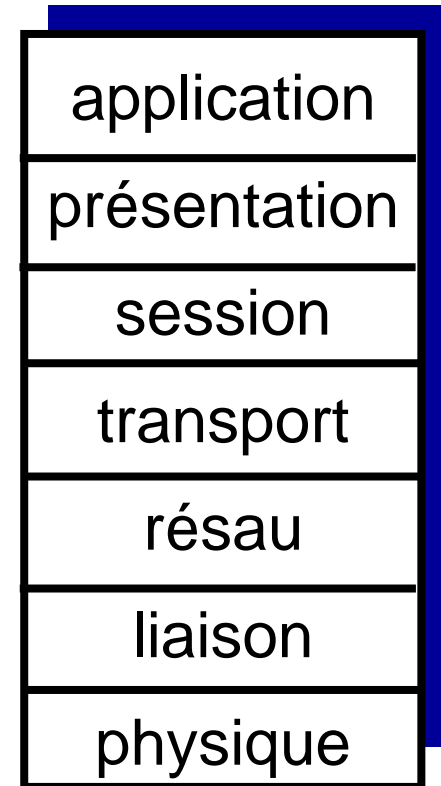
Modèle en couche de l'internet

- ❖ *application*: supporter les applications réseau
 - FTP, SMTP, HTTP
- ❖ *transport*: transfert des données de bout en bout
 - TCP, UDP
- ❖ *réseau*: routage de la source vers la destination
 - IP, protocoles de routage
- ❖ *liaison*: transfert point à point
 - Ethernet, 802.111 (WiFi), PPP
- ❖ *physique*: bits “sur le câble”

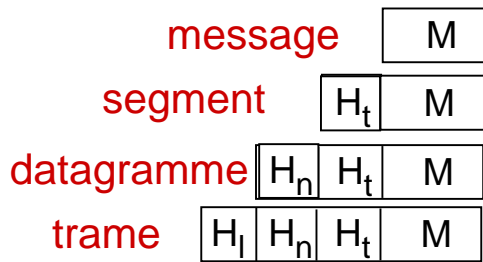


Modèle OSI

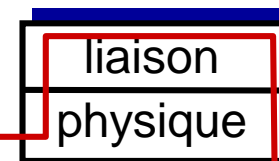
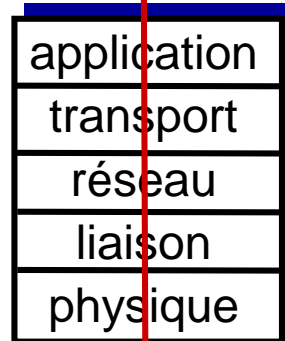
- ❖ *présentation*: permet aux applications d'interpréter le sens des données, ex., chiffrement, compression, ...
- ❖ *session*: synchronisation, ...
- ❖ ces couches sont absente du modèle adopté par l'Internet!
 - au besoin implémenté au niveau de la couche application



Encapsulation

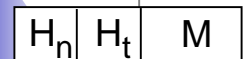
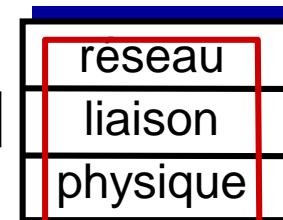
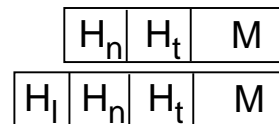
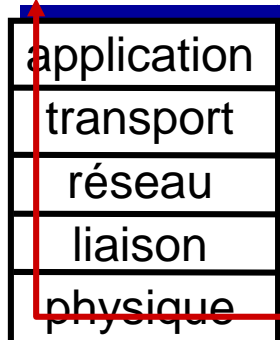
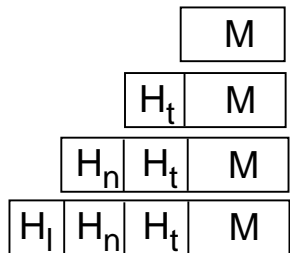


source



Commutateur

destination



routeur