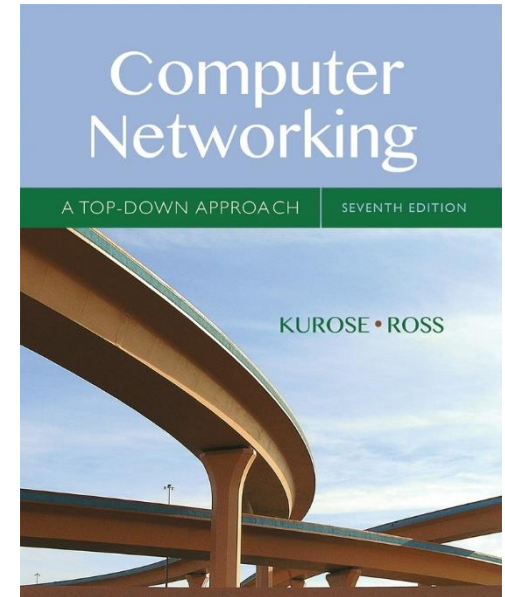


Chapitre I

Introduction (suite)



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

Rappel

- ❖ Internet = Réseaux d'accès + Réseau d'infrastructure
 - Terminaux, liens, routeurs
 - Infrastructure qui fournit des services: permettre aux apps distribuées de communiquer
- ❖ Protocole
 - Format et ordre des messages
 - Actions à prendre
- ❖ Connecter les réseaux d'accès
 - DSL: réseau téléphonique (dédié)
 - Câble: réseau de télévision (partagé)
 - Fibre: FTTH, FTTN, ... (dédié/partagé)
 - Sans fil: cellulaire, satellite, ... (partagé)

Chapitre I: 2ème partie

I.3 réseau d'infrastructure

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

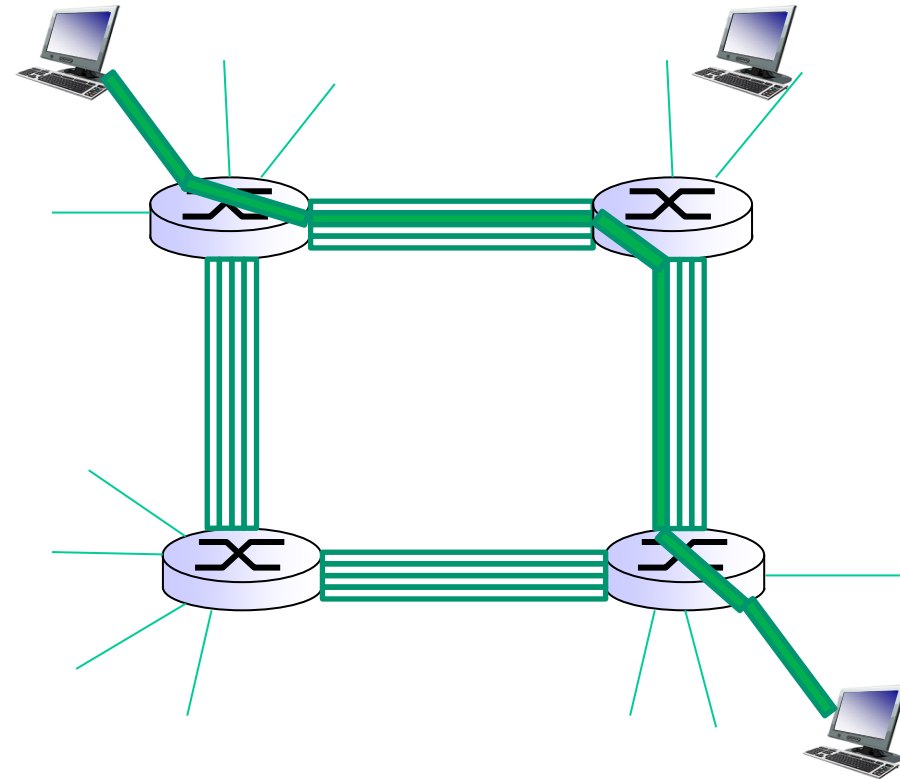
I.4 délai, perte, débit dans les réseaux

I.5 Modèle en couches

Commutation de 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

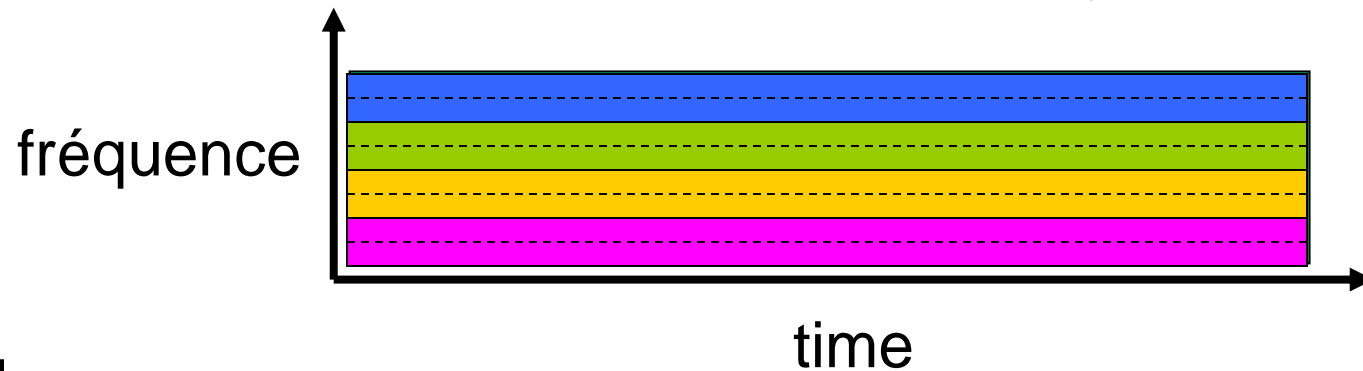


Commutation de circuits: FDM vs. TDM

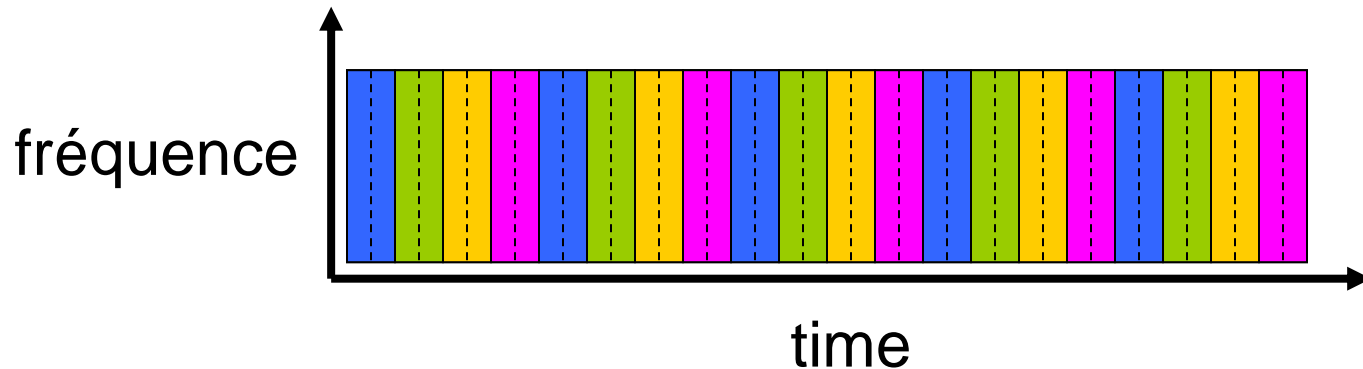
FDM

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**?

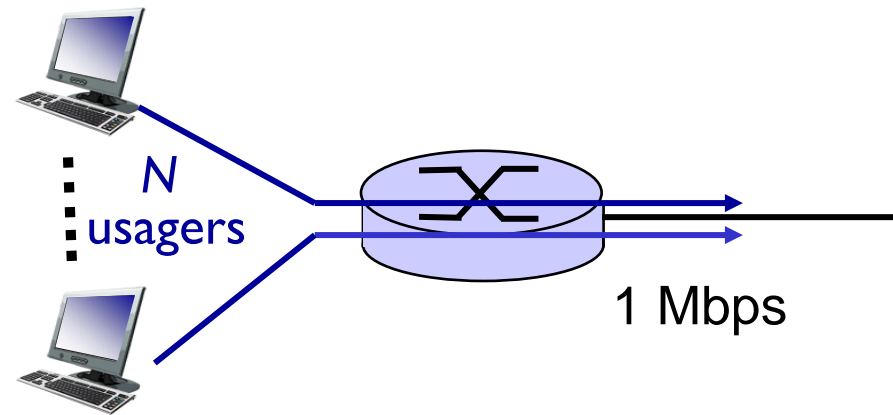
- ❖ Tous les liens sont à **1.536 Mbps**
- ❖ Chaque lien utilise **TDM** avec **24 slots/sec**
- ❖ **500 msec** pour établir un circuit

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?”

- ❖ Commutation de paquets et trafic sporadique

- Partage efficace de ressources
- Plus simple, pas d'établissement de connexion

- ❖ Inconvénient: congestion excessive possible

- Besoin de protocoles spéciaux

Q: Comment imiter une commutation de circuits?

- un grand défi de recherche

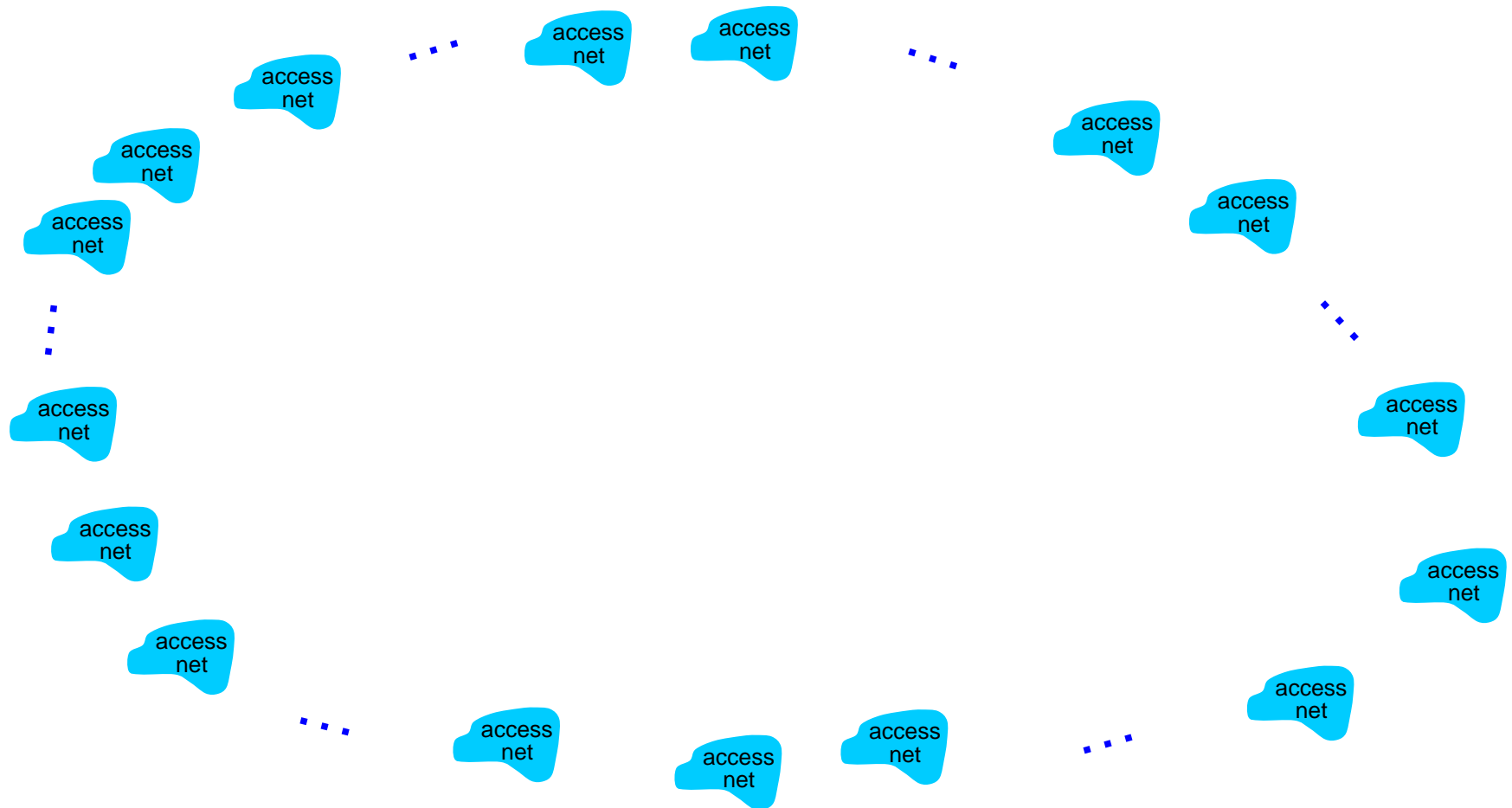
Structure d'Internet : réseau des réseaux

- ❖ Les terminaux se connectent à l'Internet via **FAls d'accès**
 - Résidentiels ou institutionnels
 - ❖ Les FAls d'accès doivent être interconnectés
-
- ➔ un réseau de réseaux « complexe »
 - Evolution pour des raisons politiques et économiques

Voyons de plus près

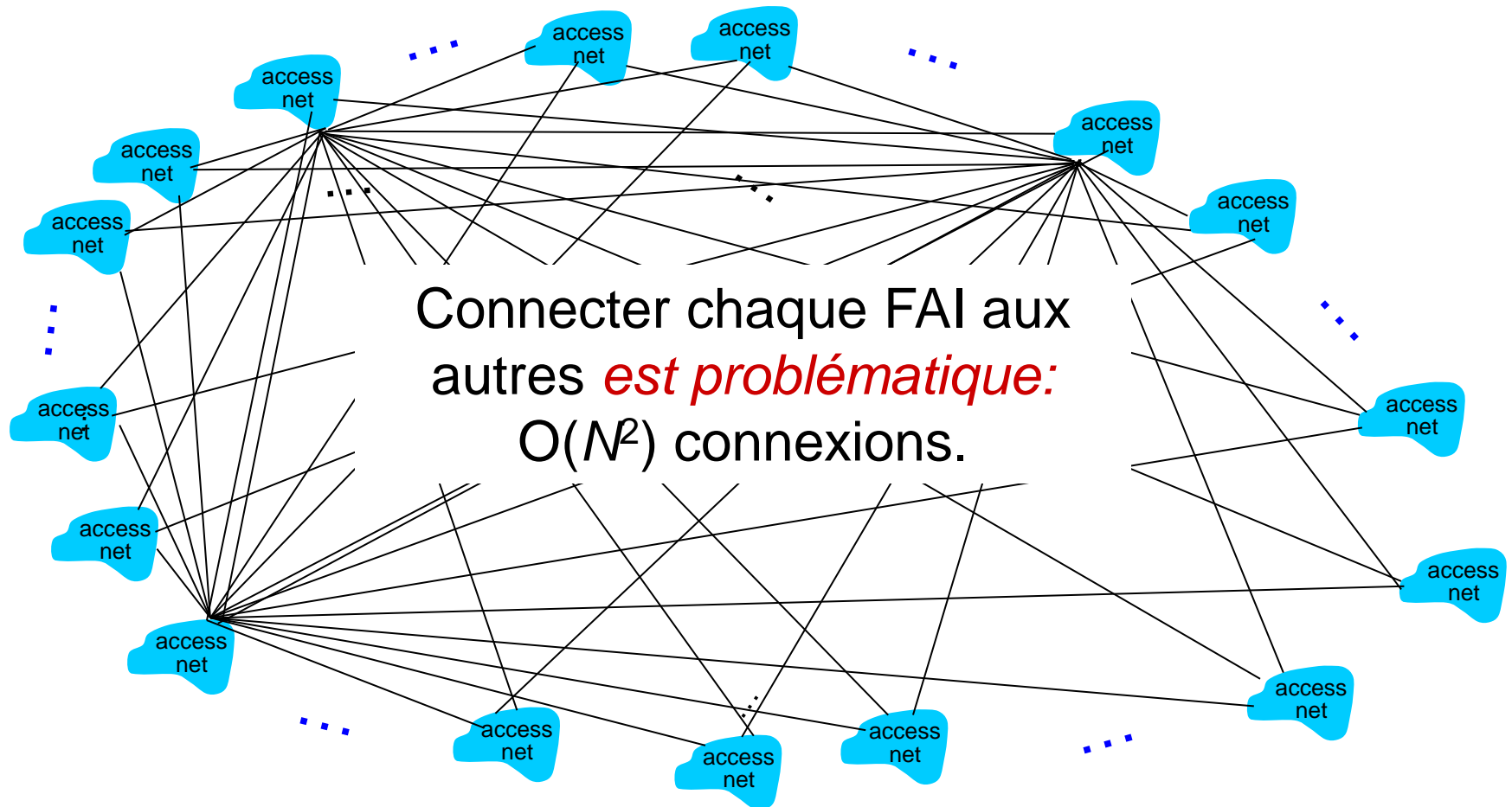
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Question: Comment interconnecter les FAIs?



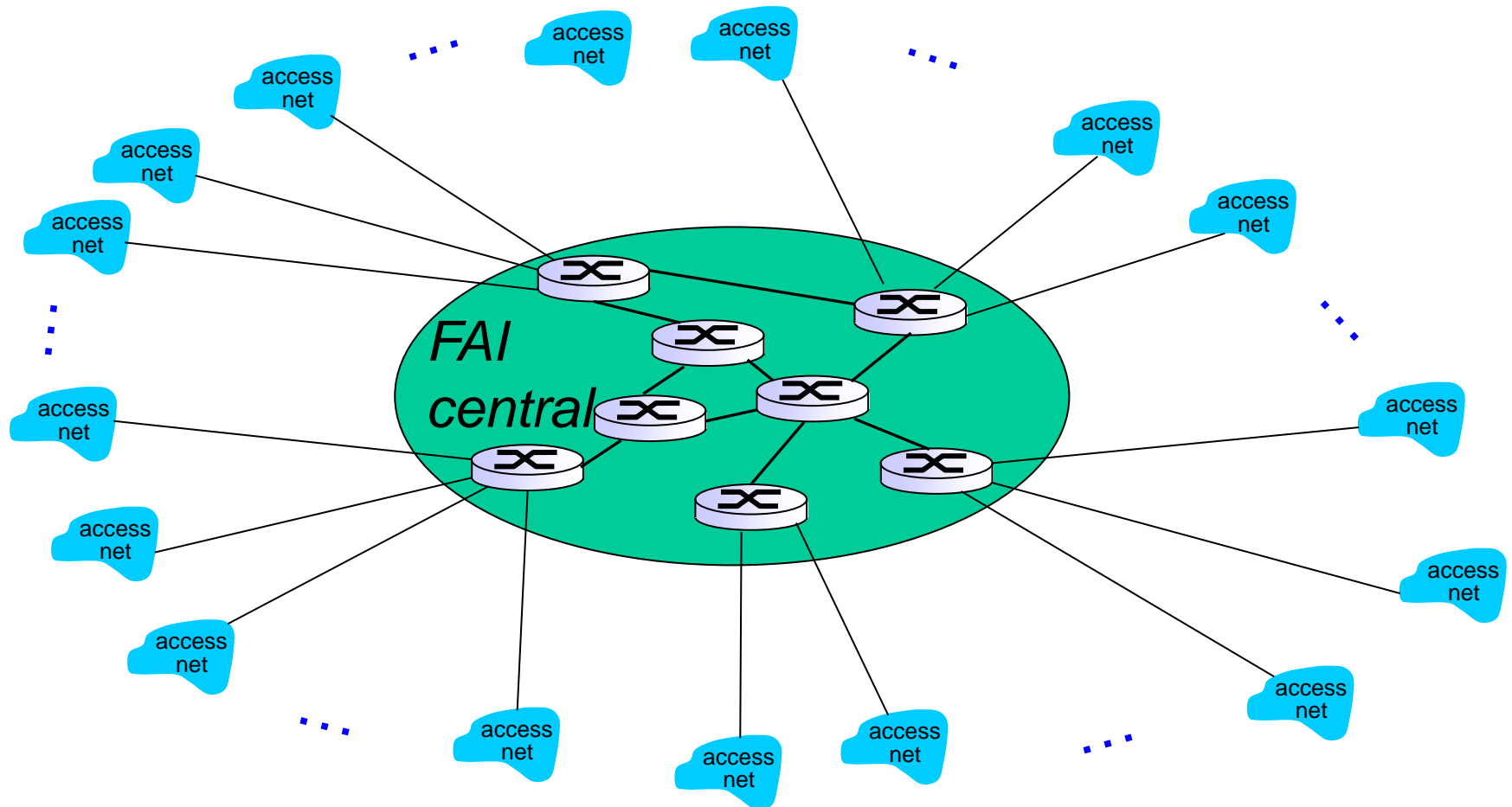
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Question: Comment interconnecter les FAIs?



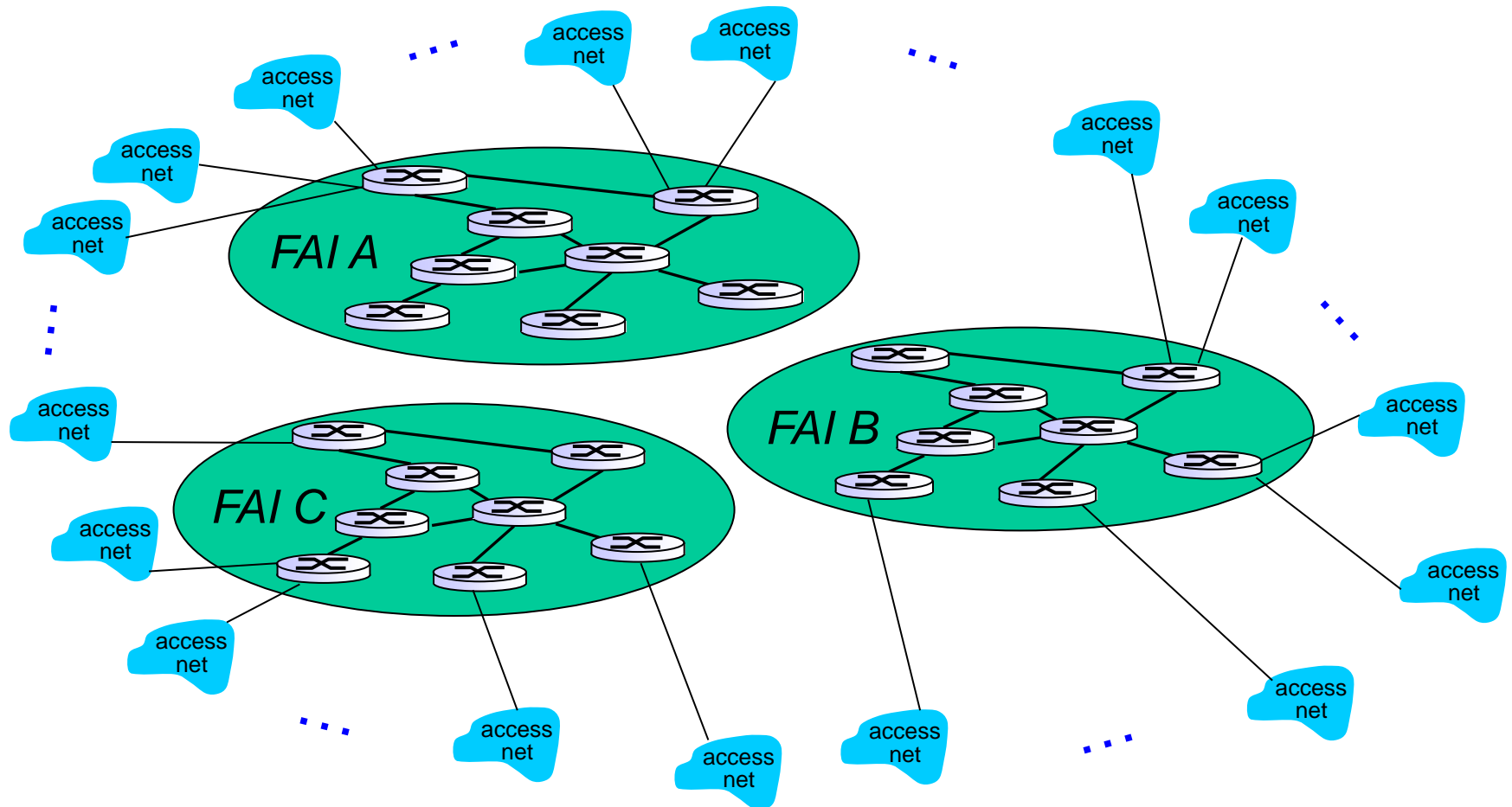
Structure d'Internet : réseau des réseaux

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



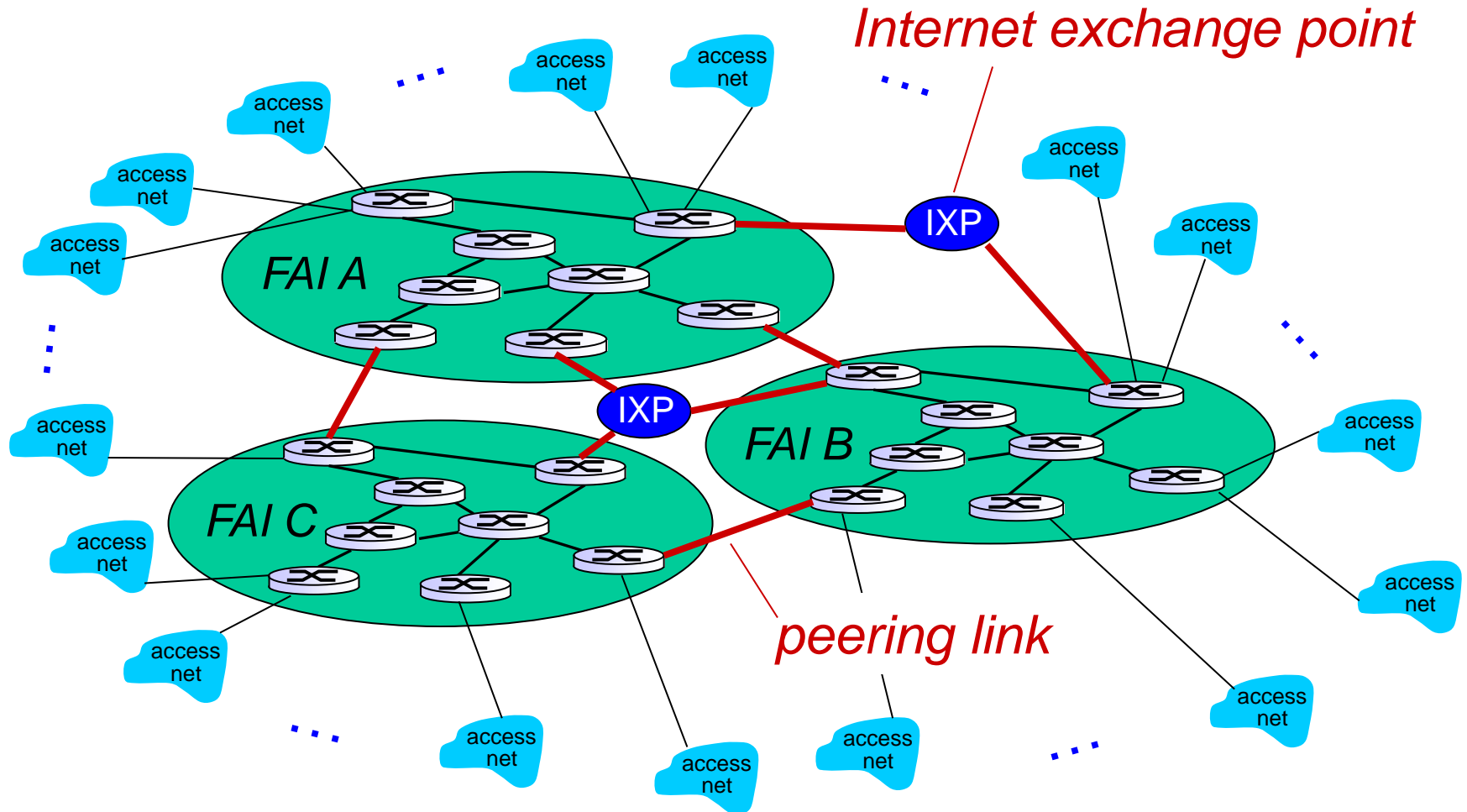
Structure d'Internet : réseau des réseaux

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



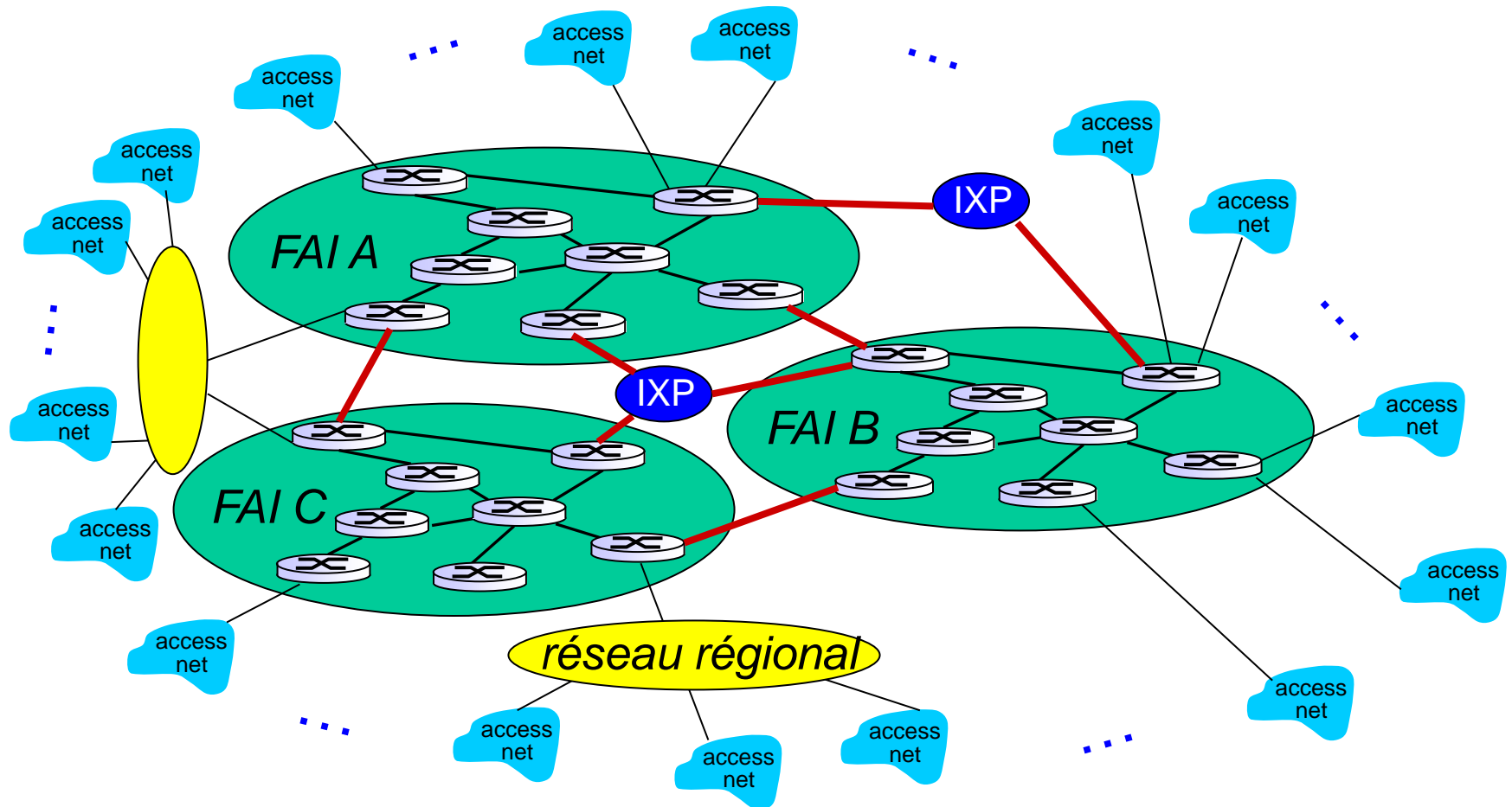
Structure d'Internet : réseau des réseaux

Les FAIs “centraux” doivent aussi être connectés



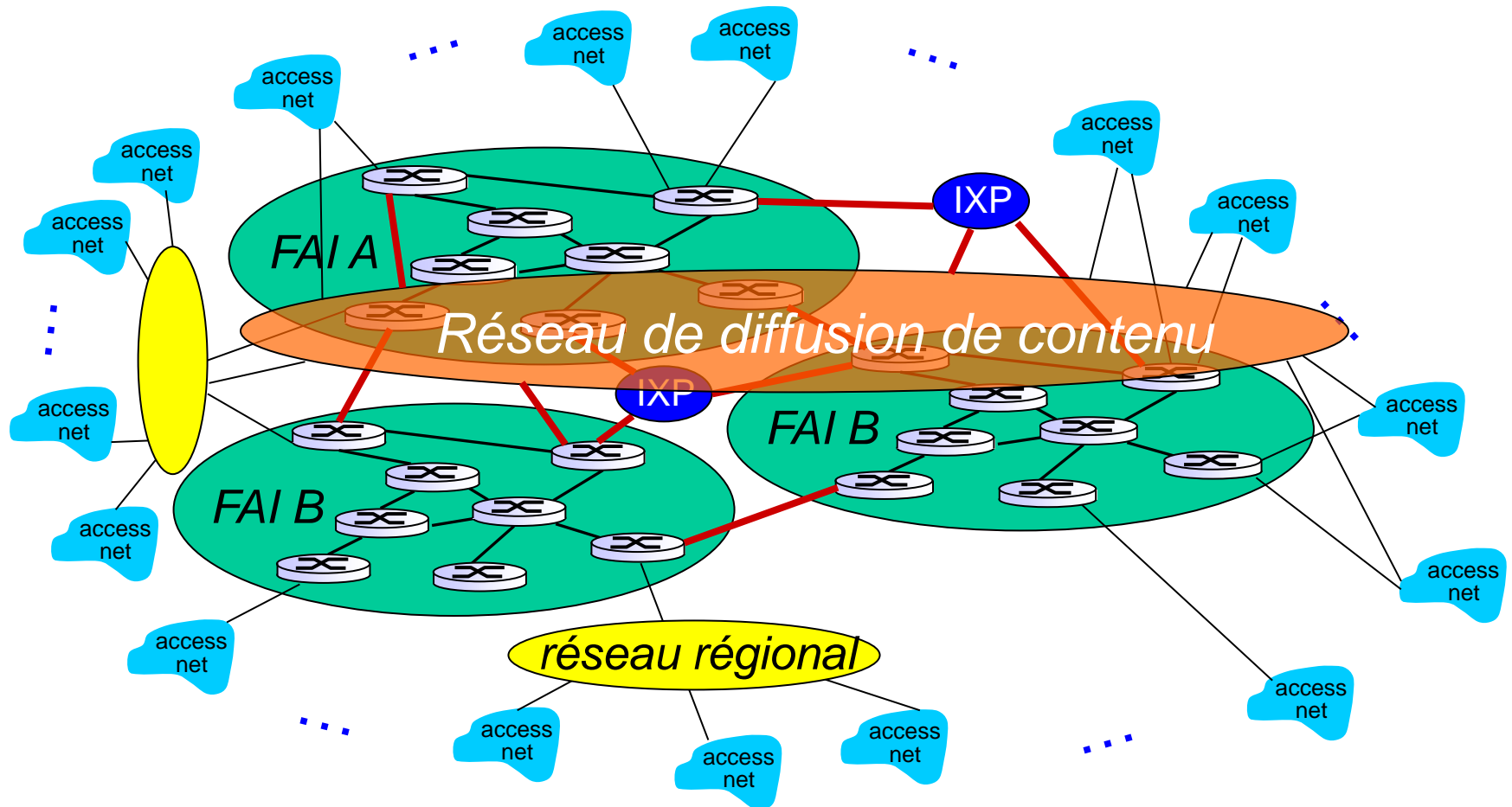
Structure d'Internet : réseau des réseaux

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

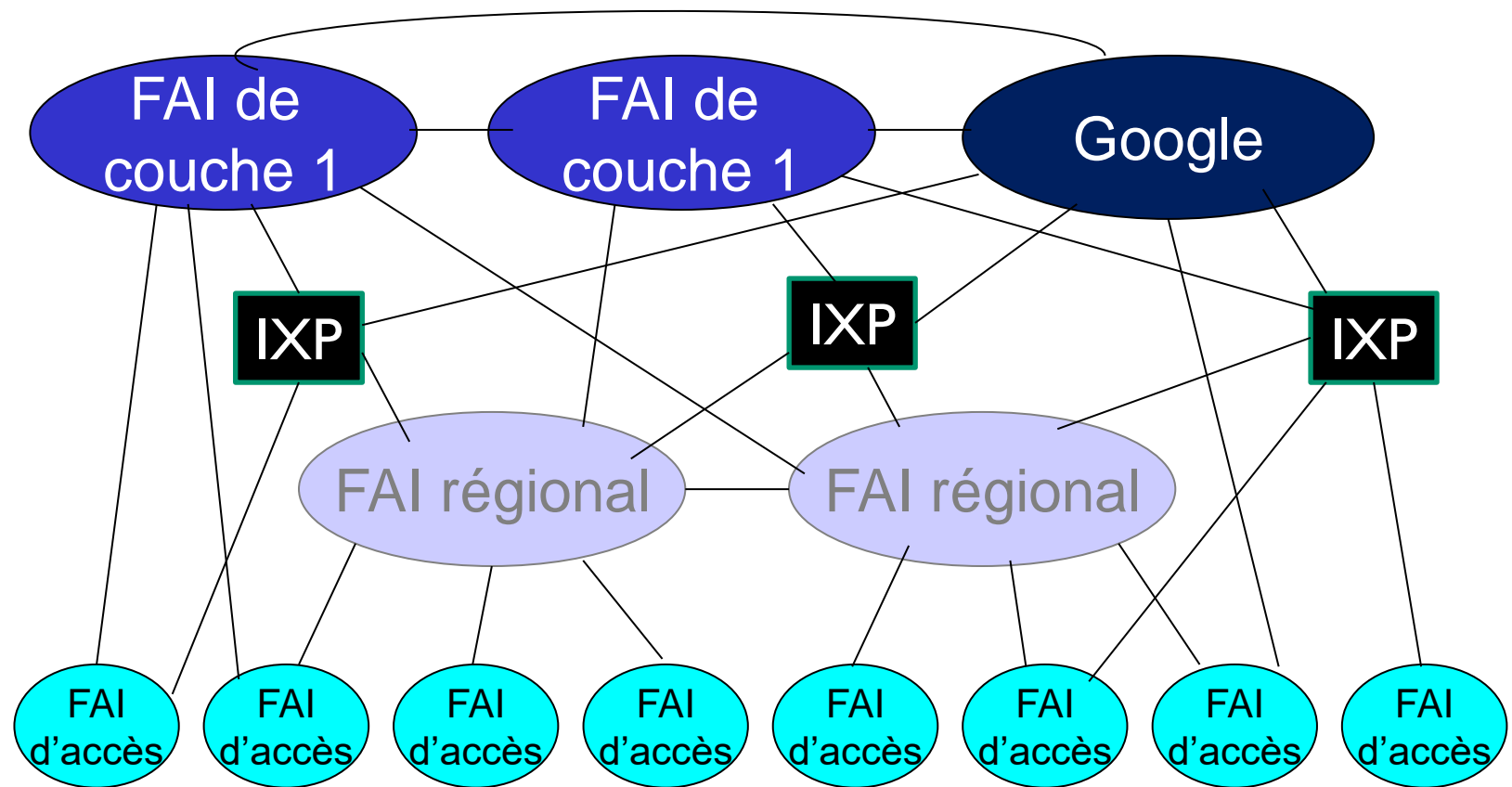


Structure d'Internet : réseau des réseaux

... 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

Chapitre I: 2ème partie

I.3 réseau d'infrastructure

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

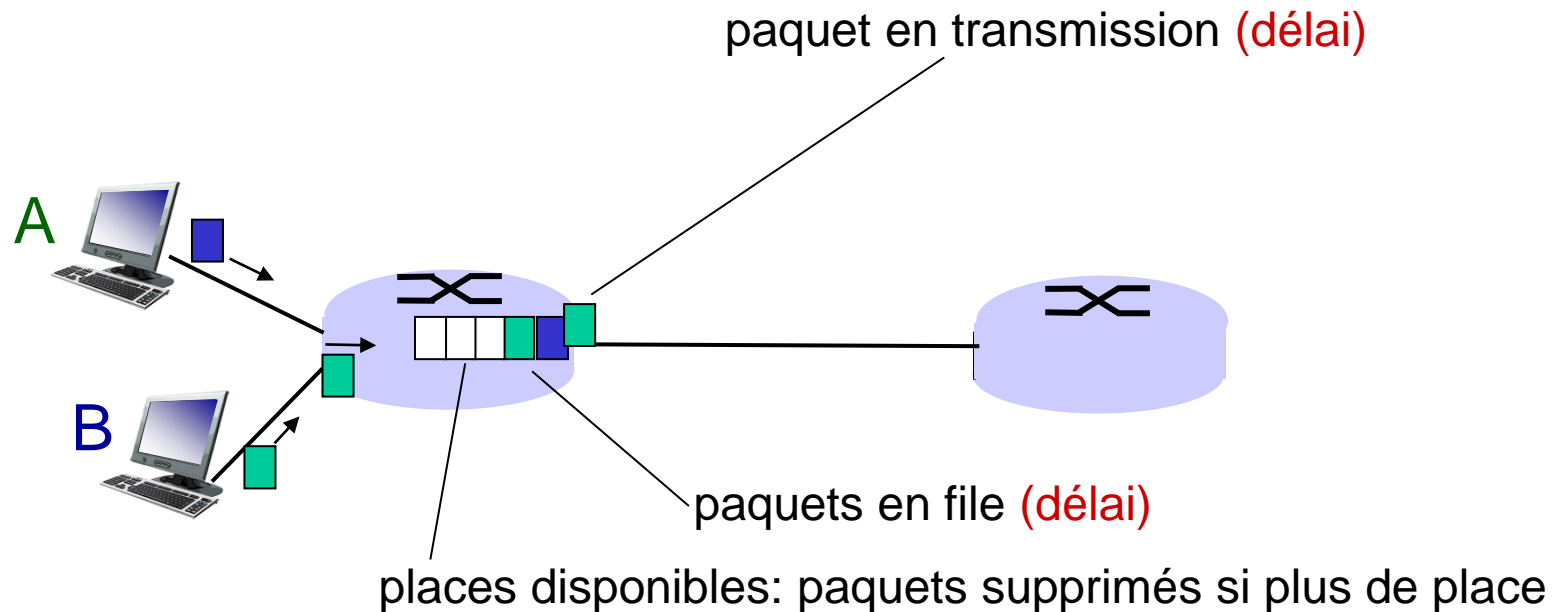
I.4 délai, perte, débit dans les réseaux

I.5 Modèle en couches

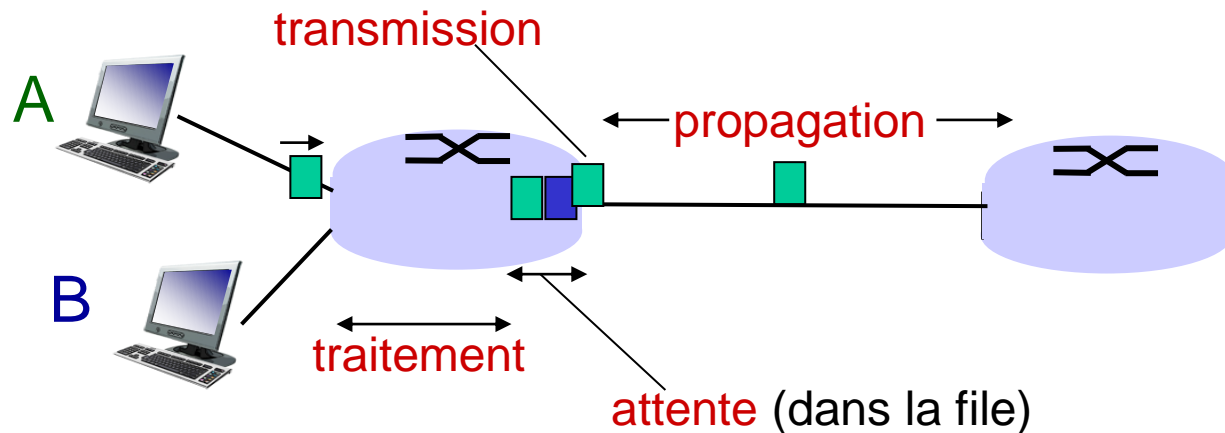
Perte et délai, comment?

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**



Quatre sources de délai



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

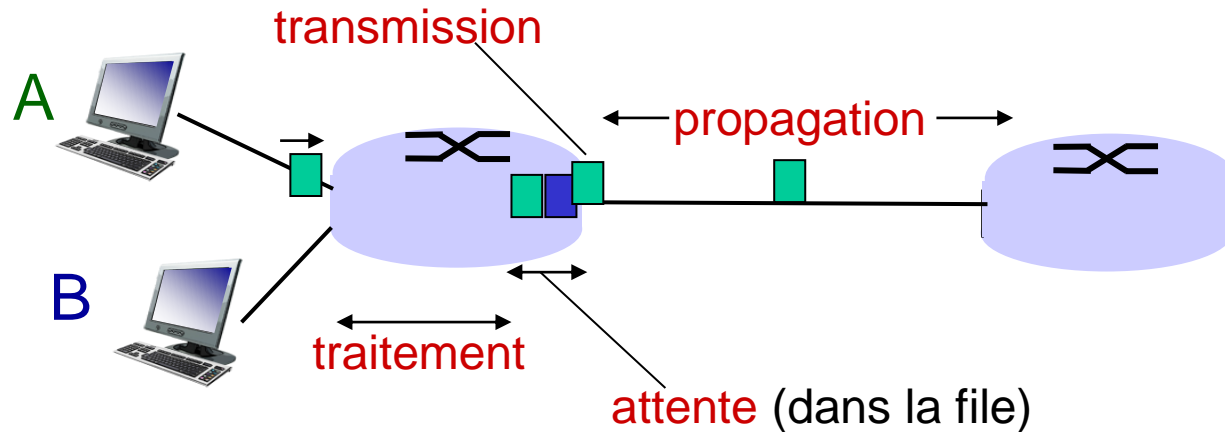
d_{trait} : traitement

- contrôle d'erreurs
- déterminer sortie
- typiquement $< \mu\text{sec}$

d_{att} : attente dans la file

- temps passé dans la file
- dépend de la congestion
- μsec à msec

Quatre sources de délai



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

d_{trans} : transmission:

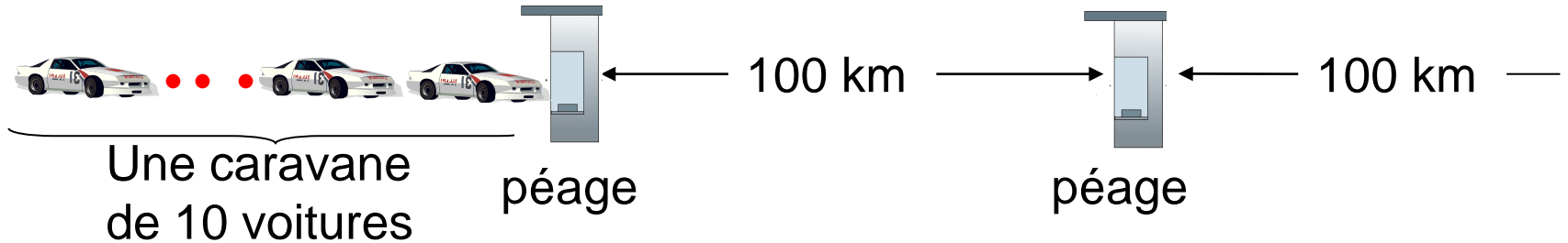
- L : taille du paquet (bits)
- R : débit du lien (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$
- μsec à msec

d_{prop} : propagation:

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

d_{trans} et d_{prop}
très différents

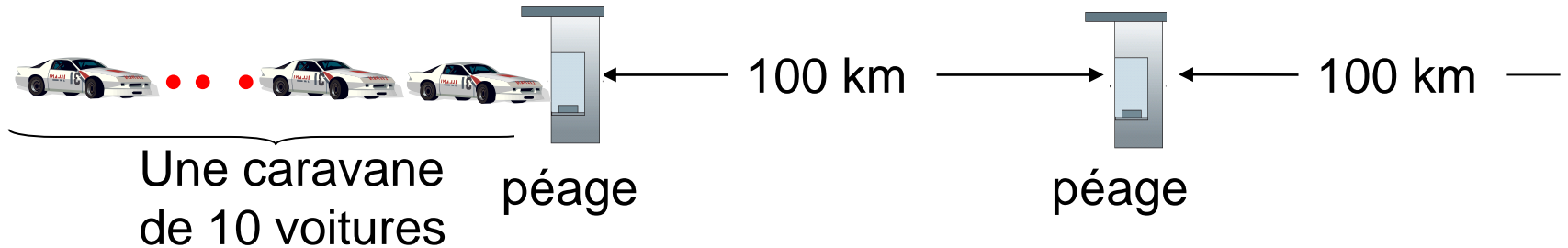
Analogie: Caravane



- ❖ Vitesse : 100 km/hr
- ❖ Péage : 12 sec/voiture
- ❖ 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
 $= 12 * 10 = 120 \text{ sec}$
- Temps pour que la dernière voiture arrive au 2ème péage:
 $100\text{km}/(100\text{km/hr})$
- Réponse: 62 minutes

Analogie: Caravane

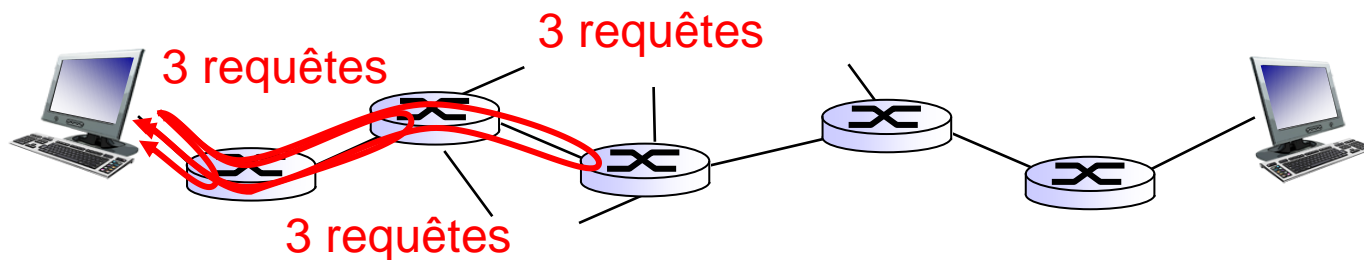


- ❖ Si vitesse = 1000 km/hr
- ❖ Péage = 1 min / voiture
- ❖ **Q: Est-ce que des voitures peuvent rester au premier péage alors que d'autres sont au deuxième?**
 - **R: Oui!** Après 7 min, la 1ère voiture arrive au deuxième alors que trois voitures sont encore au premier.

Voyons les délais de plus près

❖ programme `traceroute`


- 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

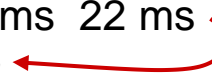
traceroute: gaia.cs.umass.edu à www.eurecom.fr

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

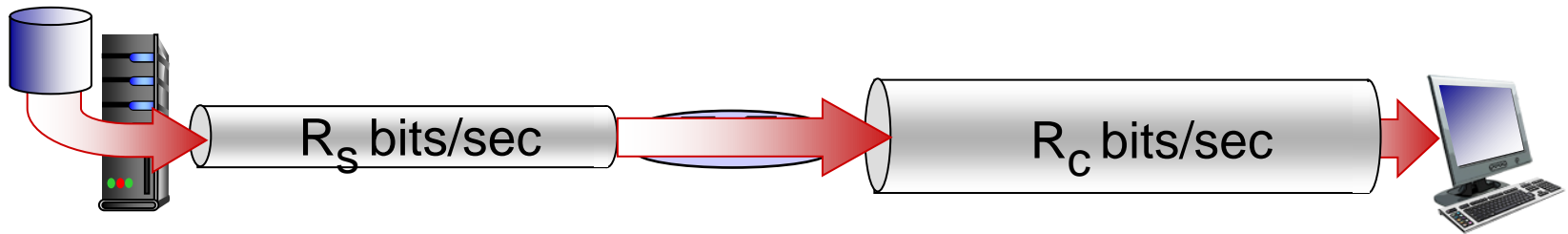
un lien
trans-oceanic



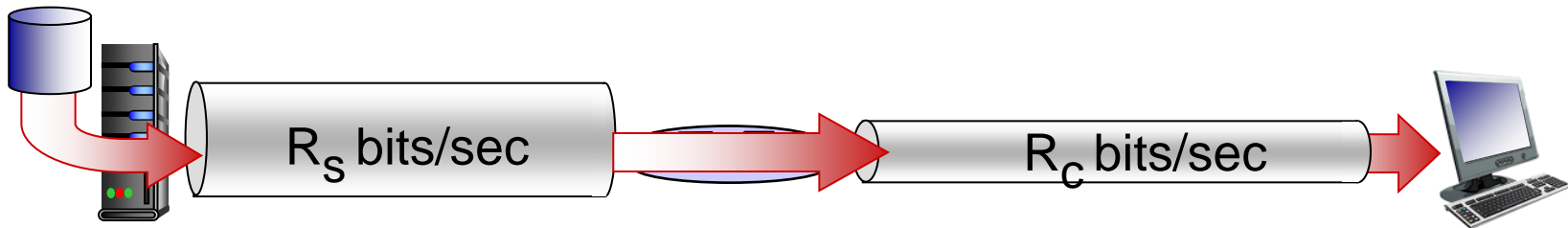
* pas de réponse (requête perdu)

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

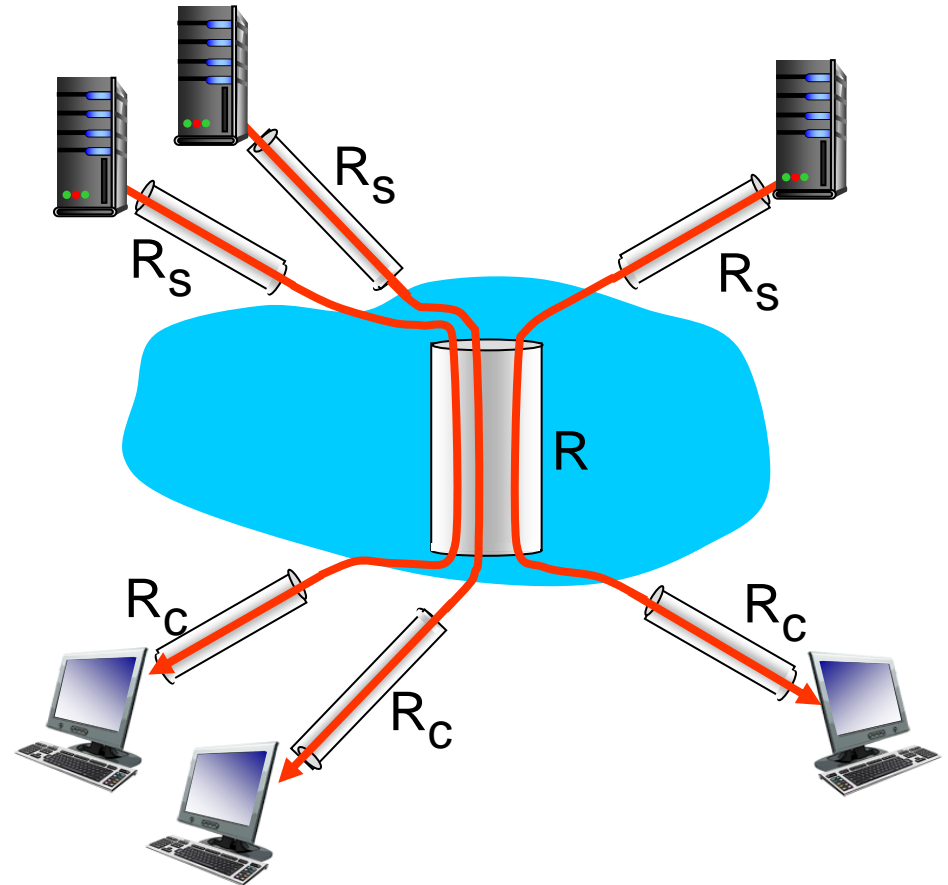
Débit: scénario de l'Internet

❖ Débit de bout en bout par connexion:

- $\min(R_c, R_s, R/I0)$

❖ en pratique:

R_c ou R_s = 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:

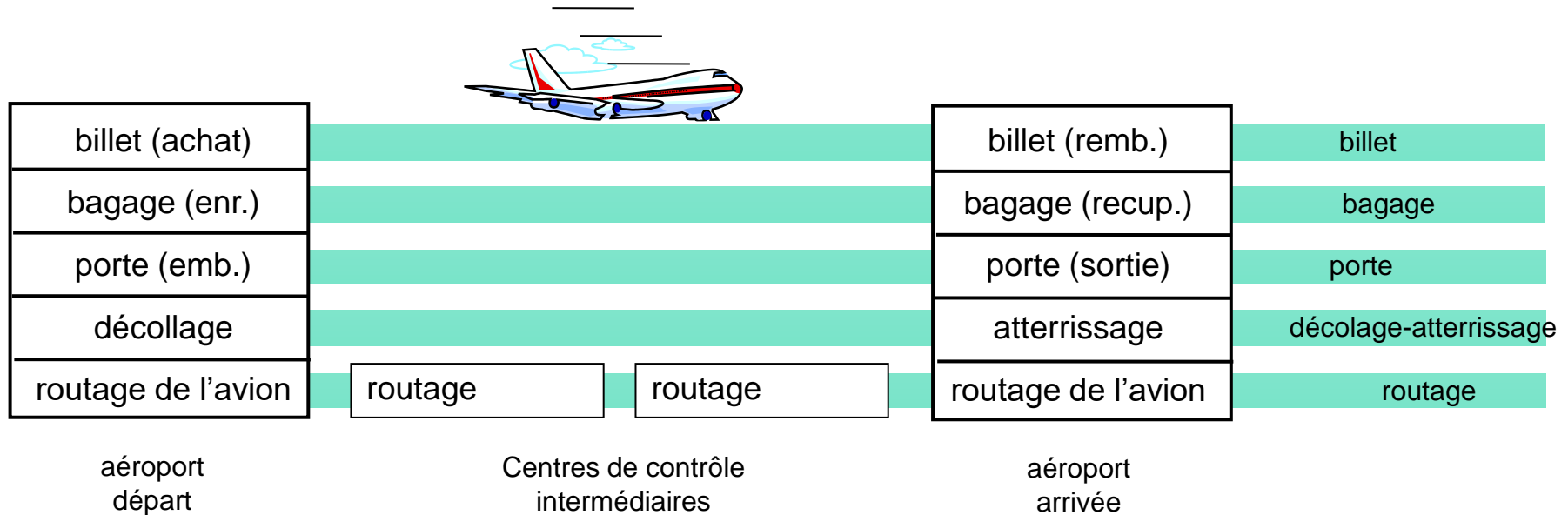
Est-ce qu’il existe une
manière pour simplifier
cette architecture
complexe?

Organisation d'un voyage par avion



❖ Un ensemble d'étapes

Mise en couche



couches: chaque couche implémente un service

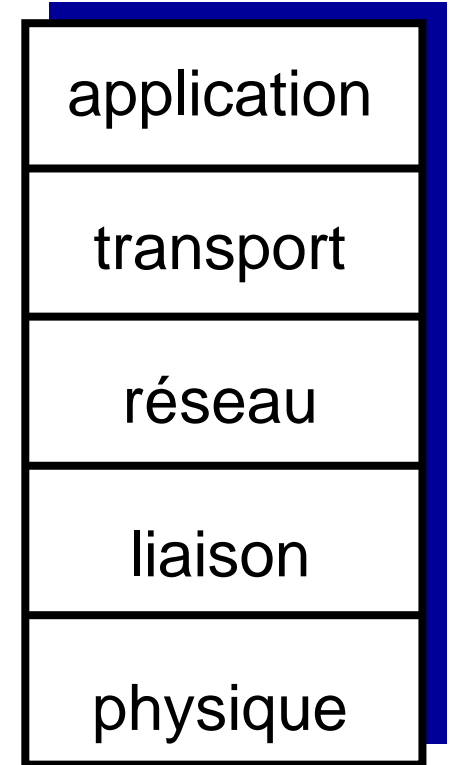
- avec ses propres actions
- dépendant des services fournis par les couches adjacentes

La mise en couche, pourquoi?

- ❖ Simplifier la structure
- ❖ Modularisation simplifie maintenance, mise à jour et implémentation
- ❖ La mise en couches dérange?

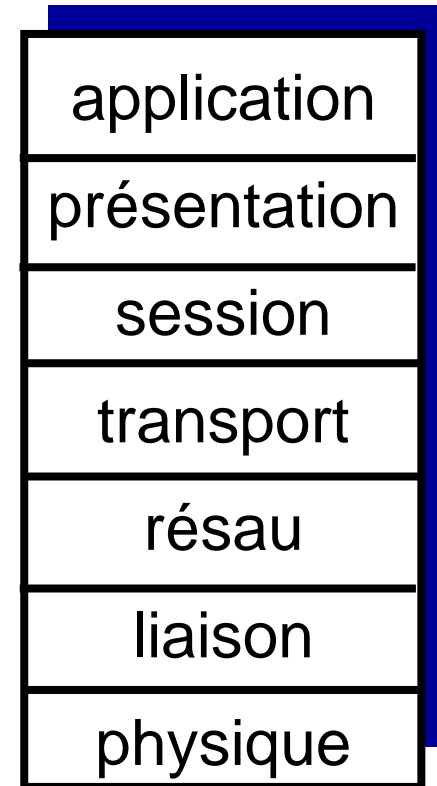
Modèle en couche de l'internet

- ❖ *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”

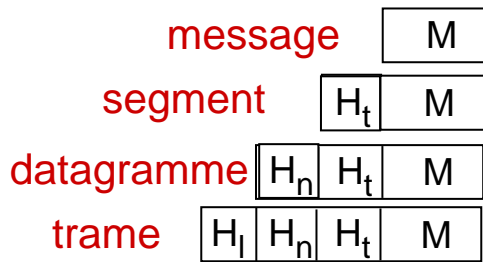


Modèle OSI

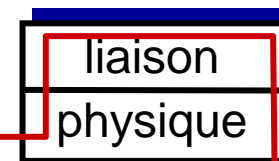
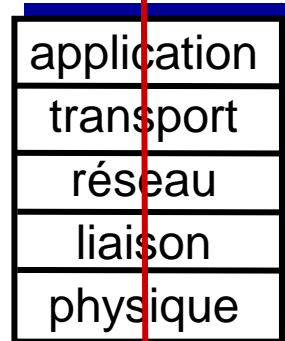
- ❖ *présentation*: permet aux applications d'interpréter le sens des données, ex., chiffrement, compression, ...
- ❖ *session*: synchronisation, ...
- ❖ ces couches sont absente du modèle adopté par l'Internet!
 - au besoin implémenté au niveau de la couche application



Encapsulation

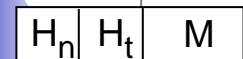
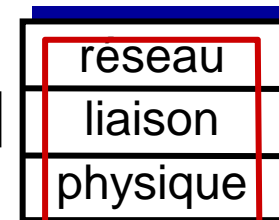
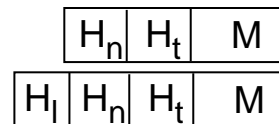
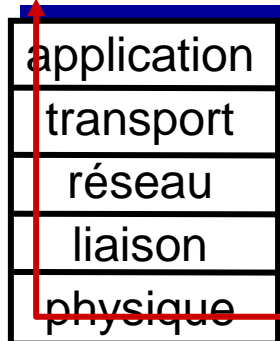
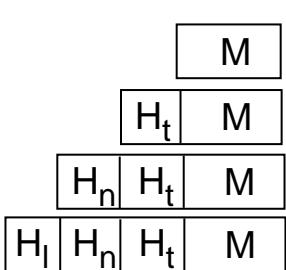


source



Commutateur

destination



routeur