

## IST - ELI2

Réseaux et protocoles  
de communication

Kim Thai  
(LIP6 - UPMC)



1

## Organisation du cours

- A. Introduction
- B. Liaison de données
- C. Réseaux commutés
- D. IP
- E. TCP



-2-



Kim Thai

## Bibliographie

- ✓ A. Tanenbaum
  - "Computer Networks", 4th edition, Prentice-Hall, 2002
  - "Réseaux", 4ème édition, Campus Press, 2003
- ✓ J.K. Kurose, K.W. Ross
  - "Computer Networking", 2nd edition, Addison-Wesley, 2002
- ✓ L.L. Peterson, B.S. Davie
  - "Computer Networks", 3rd edition, Morgan Kaufmann, 2003



-3-



Kim Thai

## Introduction - Plan

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Un peu d'histoire...
3. Normes et standards
4. Classifications des réseaux
5. Architecture en couches



-4-



Kim Thai

## Introduction - Plan

### 1. Qu'est-ce qu'un réseau ?

- ✓ définition
- ✓ intérêts

### 2. Un peu d'histoire...

### 3. Normes et standards

### 4. Classifications des réseaux

### 5. Architecture en couches



-5-



Kim Thai

## Qu'est-ce qu'un réseau ?

### ✓ Définition générale

- Un **réseau** est un ensemble d'objets interconnectés les uns aux autres qui permet de faire circuler des éléments entre ces objets selon des règles bien définies

### ✓ Exemples

- Réseau téléphonique
- Réseau de neurones
- Réseau de terroristes
- Réseau autoroutier



-6-



Kim Thai

## A quoi sert un réseau informatique

- ✓ Un **réseau** vise à fournir les moyens matériels et logiciels pour faire communiquer et permettre l'échange d'informations entre plusieurs équipements ou machines informatiques de manière souple et fiable

- Réseau (**network**) : ensemble des équipements
- Mise en réseau (**networking**) : mise en œuvre des outils et des tâches permettant de connecter des ordinateurs afin qu'ils puissent partager des ressources

- ✓ Les réseaux sont omniprésents...



-7-



Kim Thai

## Une distinction à faire...

Deux domaines complémentaires mais différents...

### ✓ Réseaux

- Donner les moyens matériels et logiciels pour transmettre l'information
- Un réseau est transparent à l'information transportée

### ✓ Systèmes répartis

- Donner les moyens logiciels d'accéder aux ressources de la machine et de les partager entre les utilisateurs : mémoire, CPU, disque, Réseaux
- Un système réparti assure la transparence pour l'utilisateur vis-à-vis de la localisation des ressources, des communications, des pannes



-8-



Kim Thai

## De l'intérêt des réseaux...

### ✓ Constat

- L'homme est un être de communication
- Un ordinateur est une machine permettant de manipuler des données.
- L'homme a vite compris l'intérêt multiple qu'il pouvait y avoir à relier ces ordinateurs afin de pouvoir échanger des informations



Copyright © 1995 United Feature Syndicate, Inc.  
Redistribution in whole or in part prohibited



Kim Thai

-9-

## De l'intérêt des réseaux...

### ✓ D'un point de vue technique et économique

- Partage des ressources
- Fiabilité accrue
- Réduction des coûts
- Passage à l'échelle (scalability)



Kim Thai

-10-

## De l'utilisation des réseaux

### ✓ applications en entreprise

- partager
  - des ressources physiques
  - des données
  - où qu'elles soient
- communiquer
  - courrier électronique
  - outils de travail coopératif
  - vidéoconférence
- commercer
  - B2B (Business-to-Business)
  - B2C (Business-to-Consumer)



Kim Thai

-11-

## De l'utilisation des réseaux

### ✓ applications résidentielles

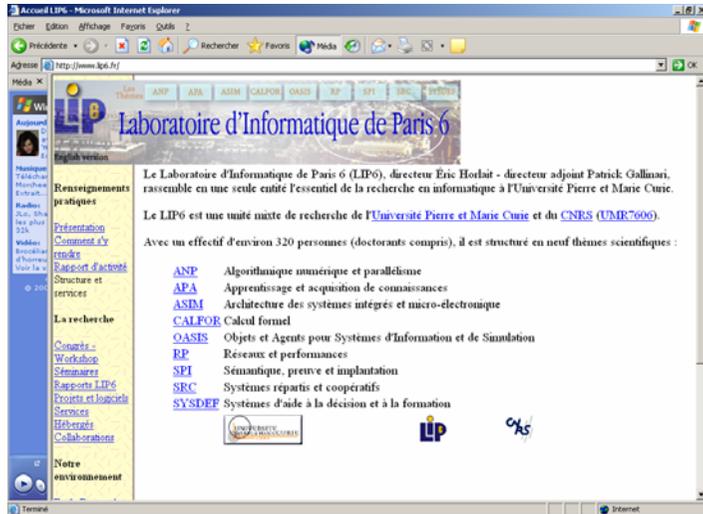
- accès à des informations distantes
  - Web
  - journaux en ligne
  - bibliothèques numériques en ligne
- communication personne-à-personne
  - courrier électronique
  - instant messaging, chat room, newsgroups
  - peer-to-peer
  - VoIP, vidéophone, radio, TV, téléenseignement
- loisirs
  - video à la demande
  - jeux distribués
- commerce électronique
  - B2C (Business-to-Consumer)
  - G2C (Government-to-Consumer)
  - C2C (Consumer-to-Consumer)



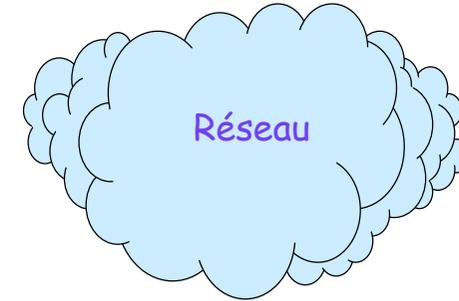
Kim Thai

-12-

# Un exemple d'utilisation : le Web



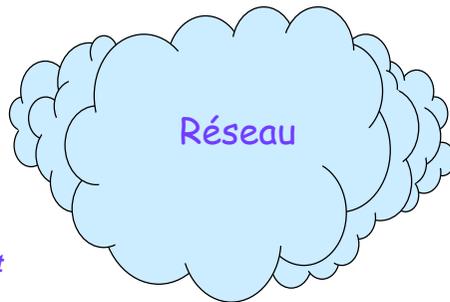
# Comment ?



# Des logiciels...



Navigateur = client



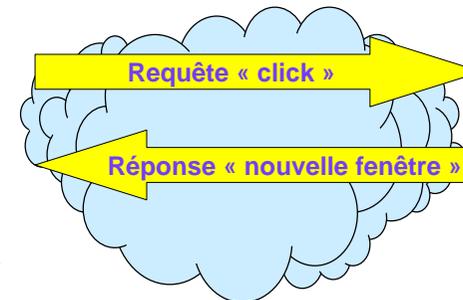
Serveur Apache



# Un protocole pour dialoguer...



Navigateur = client



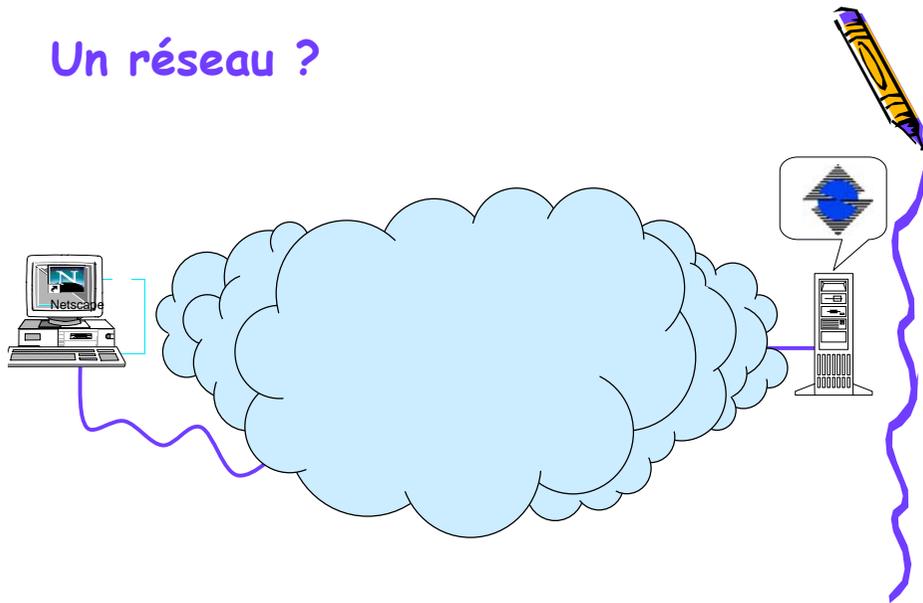
Serveur Apache



- Etablissement du dialogue
- Format des échanges
- Synchronisation



## Un réseau ?

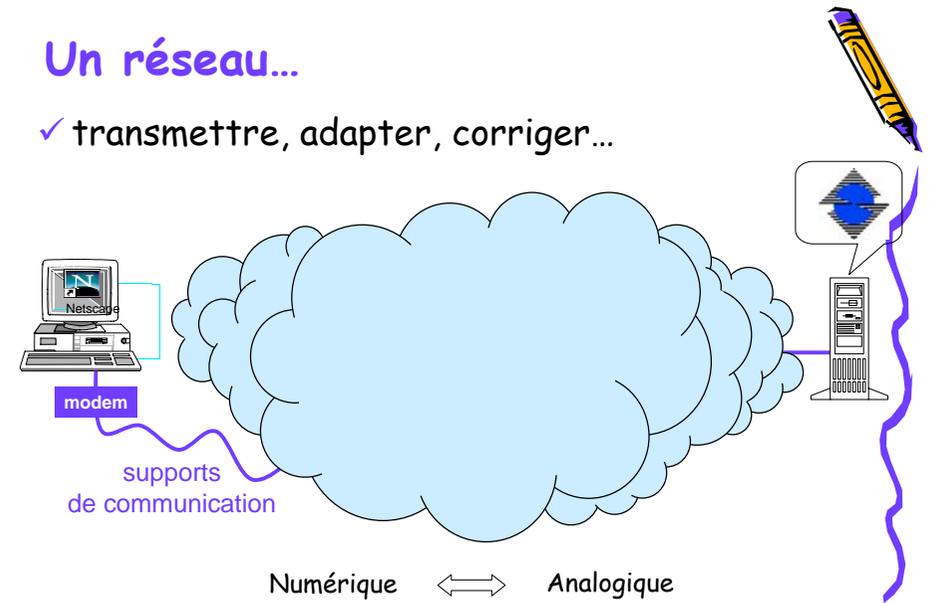


Kim Thai

-17-

## Un réseau...

✓ transmettre, adapter, corriger...

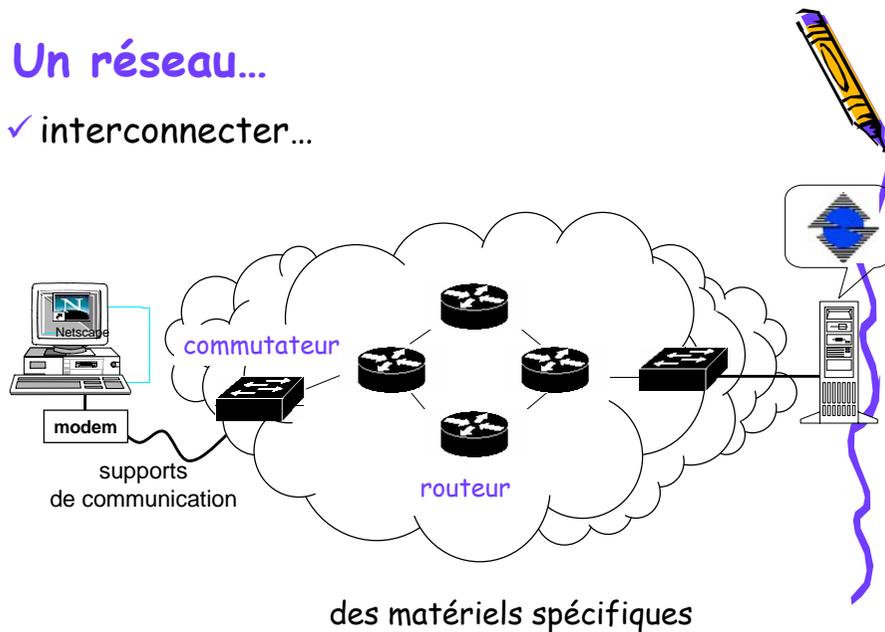


Kim Thai

-18-

## Un réseau...

✓ interconnecter...

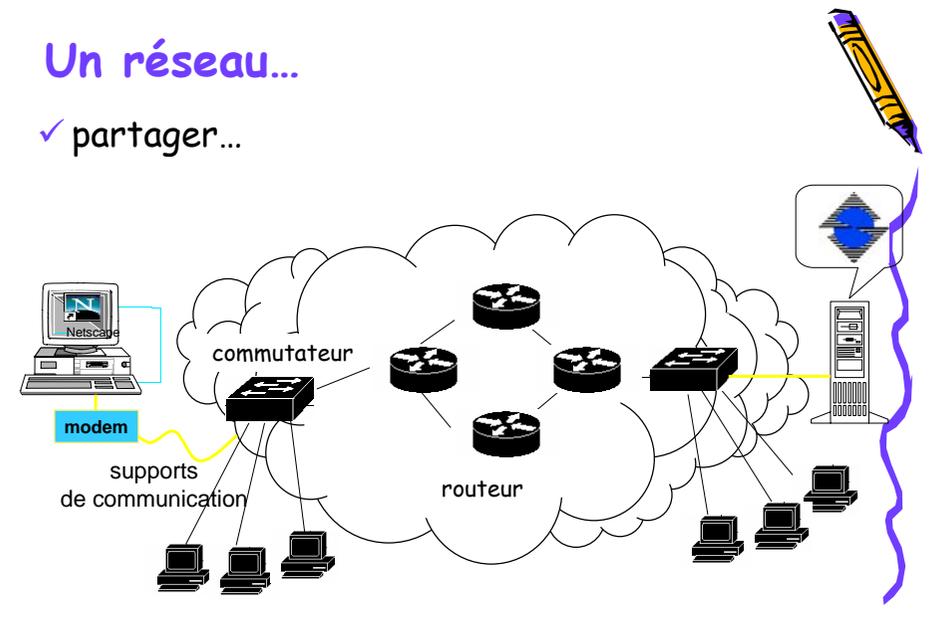


Kim Thai

-19-

## Un réseau...

✓ partager...

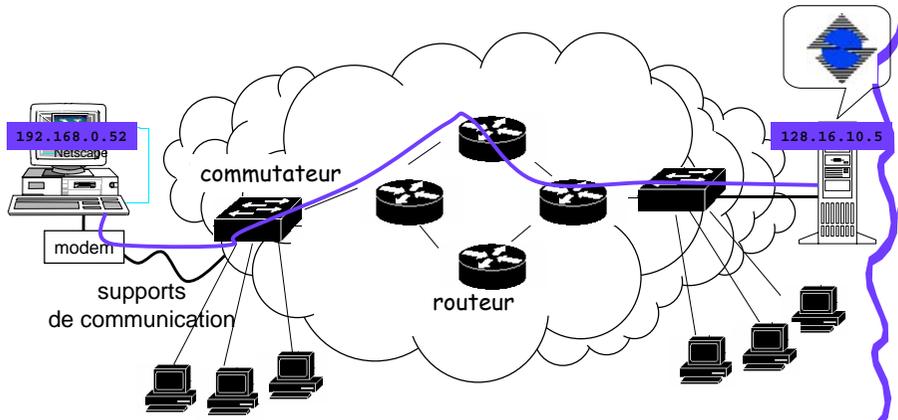


Kim Thai

-20-

## Un réseau...

✓ adresser, router...



des protocoles d'interconnexion, de routage, de contrôle de congestion

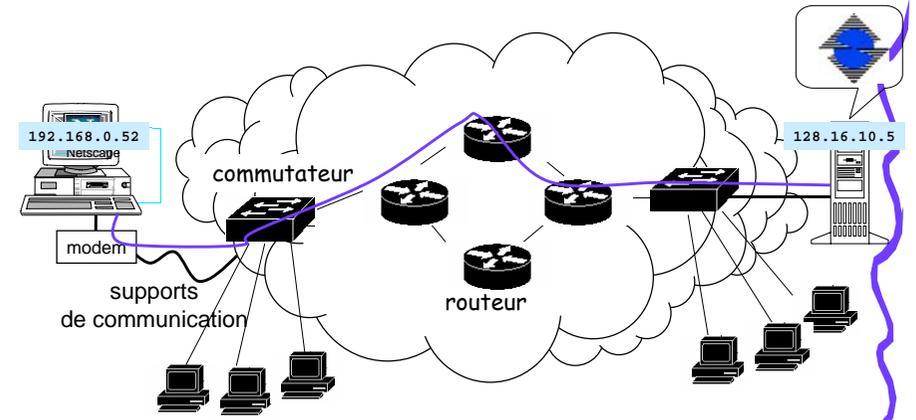


Kim Thai

-21-

## Un réseau...

✓ installer, configurer, administrer...



des outils de surveillance, statistiques, bases de données, sécurité



Kim Thai

-22-

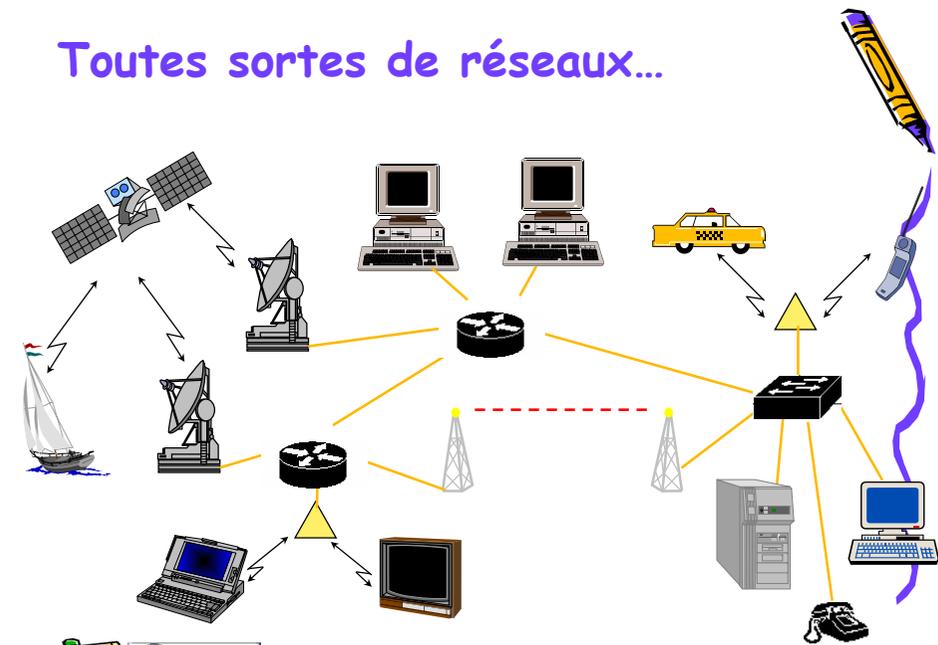
## Toutes sortes de média...



Kim Thai

-23-

## Toutes sortes de réseaux...



Kim Thai

-24-

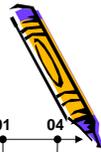
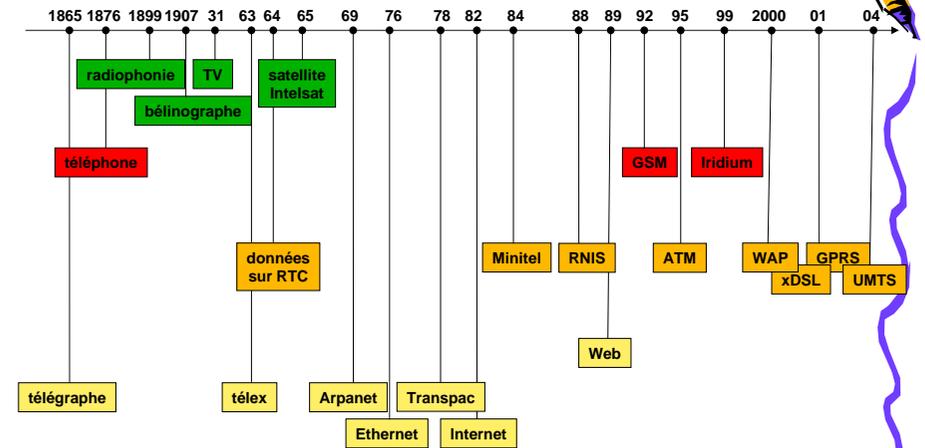
## Introduction - Plan

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Un peu d'histoire...
  - ✓ quelques dates
  - ✓ la convergence des acteurs
3. Normes et standards
4. Classifications des réseaux
5. Architecture en couches



-25-

## Quelques dates...



-26-

## Les acteurs et leurs approches

- ✓ industriels des télécommunications
  - but : mettre à la disposition de l'utilisateur un réseau pour interconnecter les équipements terminaux
  - applications synchrones à contraintes temporelles (voix)
  - solution : commutation de circuits
- ✓ industriels de l'informatique
  - but : relier des machines informatiques entre elles, en local ou à distance
  - applications asynchrones à temps de réponse variable (transfert de fichiers, transactions, etc.)
  - solution : commutation de paquets
- ✓ câblo-opérateurs
  - but : déployer des réseaux câblés de télévision
  - applications à très hauts débits en numérique
  - solution : commutation en large bande



-27-

## Introduction - Plan

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Un peu d'histoire...
3. Normes et standards
  - ✓ le besoin
  - ✓ l'UIT
  - ✓ l'ISO
  - ✓ l'IETF
  - ✓ l'IEEE
4. Classifications des réseaux
5. Architecture en couches



-28-

## Normes et standards : le besoin

- ✓ bénéfiques
  - permettre à des équipements hétérogènes de communiquer
  - accroître le marché des produits adhérant aux standards
- ✓ standards
  - *de facto* : lorsqu'un consensus s'établit, sans démarche formelle
  - *de jure* : document formel, adopté par une instance reconnue



Kim Thai

-29-

## L'UIT et ses recommandations

- ✓ Union Internationale des Télécommunications
- ✓ rôle
  - émettre des recommandations techniques sur les interfaces pour le télégraphe, le téléphone, la communication de données
- ✓ 1865 : création de l'Union Télégraphique Internationale
- ✓ 3 secteurs de normalisation
  - UIT-R (radiocommunications)
  - UIT-D (développement)
  - UIT-T (télécommunications) : ex-CCITT de 1956 à 1993



Kim Thai

-30-

## L'UIT

- ✓ types de membres
  - administrations des états membres (189)
  - opérateurs privés reconnus
  - organisations régionales de télécommunications
  - organisations régionales ou internationales autres
  - organisations scientifiques ou industrielles
  - organisations intergouvernementales opérant des satellites
  - autres organisations intéressées
- ✓ fonctionnement : groupes d'étude / de travail / d'experts
- ✓ [www.itu.int](http://www.itu.int)



Kim Thai

-31-

## L'ISO et ses normes

- ✓ International Organization for Standardization
- ✓ rôle
  - favoriser le développement de la normalisation et des activités connexes dans le monde, en vue de faciliter entre les nations les échanges de biens et de services et de développer la coopération dans les domaines intellectuel, scientifique, technique et économique
- ✓ organisation non gouvernementale, créée en 1947



Kim Thai

-32-

## L'ISO

- ✓ fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (140 pays), à raison d'un membre par pays
  - comité membre : plein droit de vote
    - Afnor (France), ANSI (US), DIN (Allemagne), BSI (GB), JISC (Japon), MSB (Maurice), ...
  - membre correspondant : pays dont l'activité de normalisation n'est pas totalement développée
    - Liban, Seychelles, ...
  - membre abonné : pays à économie très limitée
    - Palestine, Cambodge, ...
- ✓ fonctionnement : 2850 comités techniques/ sous-comités / WG
- ✓ JTC 1 / SC 6/WG 7 : Technologies de l'information / Téléinformatique / Couche réseau et couche transport
- ✓ <http://www.iso.ch>



Kim Thai

-33-

## L'IETF et ses RFC

- ✓ Internet Engineering Task Force
- ✓ rôle
  - développement et ingénierie des protocoles de l'Internet
- ✓ créé formellement en 1986
- ✓ communauté internationale ouverte
  - concepteurs
  - opérateurs
  - équipementiers
  - chercheurs
- ✓ organisation : domaines / groupes de travail
- ✓ fonctionnement
  - mailing lists
  - meetings (3 fois/an)
- ✓ [www.ietf.org](http://www.ietf.org)



Kim Thai

-34-

## L'IEEE et ses standards

- ✓ Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ✓ rôle
  - édition scientifique et technique
  - organisation de conférences
  - activités de standardisation
- ✓ organisation professionnelle à but non lucratif
  - 377 000 membres individuels, répartis dans 150 pays
- ✓ fusion en 1963
  - AIEE (American Institute of Electrical Engineers)
  - IRE (Institute of Radio Engineers)
- ✓ [www.ieee.org](http://www.ieee.org)



Kim Thai

-35-

## Introduction - Plan

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Un peu d'histoire...
3. Normes et standards
4. **Classifications des réseaux**
  - ✓ type de transmission
  - ✓ topologie
  - ✓ taille
5. Architecture en couches



Kim Thai

-36-

## Classifications des réseaux

### ✓ Critères de classification

- Taille
  - WAN, LAN, MAN, PAN, ...
- Transmission
  - point à point ou diffusion
- Topologie
  - physique
  - logique



Kim Thai

-37-

## Classification par type de transmission

### ✓ la diffusion

- un seul canal de transmission partagé par toutes les machines du réseau
- les données émises sont reçues par tous, mais seul(s) le(s) destinataire(s) les prend (prennent) en compte
- ex : Ethernet, satellite, TV

### ✓ le point à point

- le réseau repose sur des connexions entre des machines prises 2 à 2
- les données peuvent transiter par plusieurs machines intermédiaires avant d'arriver à leur destination
- ex : Transpac, Internet



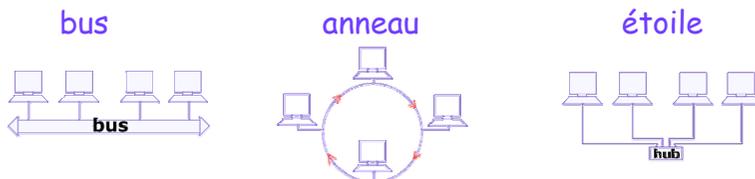
Kim Thai

-38-

## Classification par topologie

✓ la **topologie physique** décrit la façon selon laquelle les machines sont reliées *physiquement* entre elles (configuration spatiale, visible, du réseau)

✓ on distingue



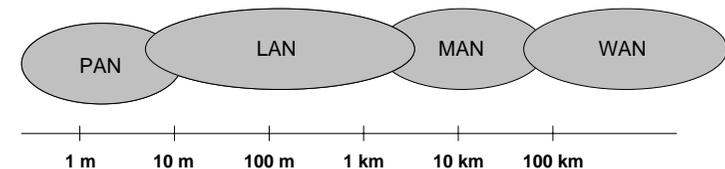
✓ à ne pas confondre avec la **topologie logique** prise en compte par le protocole d'accès au support



Kim Thai

-39-

## Classification par taille



PAN - Personal Area Network  
LAN - Local Area Network  
MAN - Metropolitan Area Network  
WAN - Wide Area Network



Kim Thai

-40-

## Caractéristiques des WAN

- ✓ réseaux étendus sur plusieurs centaines voire milliers de km (un pays, un continent, ...)
- ✓ réseaux publics ou privés
- ✓ composés de commutateurs et de liaisons entre eux
- ✓ des milliers d'ordinateurs y sont connectés



## Caractéristiques des LAN

- ✓ réseaux adaptés à la taille d'un site d'entreprise dont la taille ne dépasse pas qq km
- ✓ réseaux privés
- ✓ utilisés pour relier les PC ou les stations de travail à des ressources partagées
- ✓ quelques centaines d'ordinateurs
- ✓ débits : ~10 ~100 Mbit/s généralement
- ✓ reposent sur un support *partagé*
  - nécessitent un mécanisme d'arbitrage pour résoudre les conflits d'accès
- ✓ topologies : bus (Ethernet), anneau (Token Ring), ...



## Caractéristiques des MAN

- ✓ réseaux atteignant la taille d'un campus, d'une métropole
- ✓ réseaux publics ou privés
- ✓ essentiellement des gros LAN
- ✓ débits : 100 Mbit/s
- ✓ utilisent un support de transmission auquel sont reliés tous les ordinateurs
- ✓ peuvent servir à interconnecter des LAN
- ✓ quelques centaines, quelques milliers d'ordinateurs
- ✓ topologie : double bus (DQDB)



## Caractéristiques des PAN

- ✓ tous petits réseaux permettant d'interconnecter des machines personnelles (PC portable, téléphone mobile, PDA, etc.)
- ✓ réseaux sans fil
- ✓ technologies émergentes : Bluetooth
- ✓ débits : qq centaines à qq Méga bit/s
- ✓ quelques équipements connectés



## Introduction - Plan

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Un peu d'histoire...
3. Normes et standards
4. Classifications des réseaux
5. **Architecture en couches**
  - ✓ le besoin
  - ✓ les principes
  - ✓ le modèle OSI
  - ✓ l'architecture TCP/IP



Kim Thai

-45-

## Pourquoi une architecture ?



transfert de fichier de A à B via un réseau

- acheminer des bits
- transporter des paquets
- gérer les échanges d'applications
- etc.
- altérations de données
- pertes de données
- congestions du réseau
- pannes matérielles
- etc.

↳ il faut décomposer le problème !



Kim Thai

-46-

## Comment décomposer ?



principe : structuration en couches (niveaux)

- chaque couche est construite sur la précédente
- le nombre, le nom, le contenu et les fonctions des couches diffèrent d'une architecture à l'autre
- dans toutes les architectures, le rôle de chaque couche est d'offrir des services à la couche supérieure



Kim Thai

-47-

## Pourquoi une architecture en couches ?

Lorsqu'on doit concevoir un système complexe

- ✓ une structure explicite permet l'identification et les relations entre les différentes parties du système
  - un modèle de référence en couches constitue une base de discussion
- ✓ la modularité facilite la maintenance et la mise à jour du système
  - la modification d'une couche reste transparente au reste du système

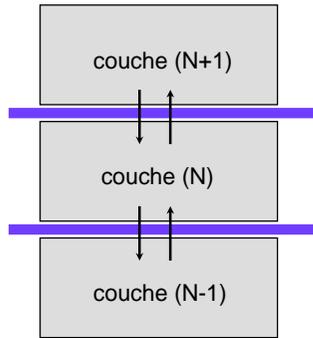
↳ 2 aspects : vertical et horizontal



Kim Thai

-48-

## Aspect vertical



- la couche (N+1) voit la couche (N) uniquement par le *service* offert
- la couche (N+1) n'a aucune vue sur la couche (N-1)
- la couche (N) est séparée de la couche (N-1) et de la couche (N+1) par une *interface de service* bien définie

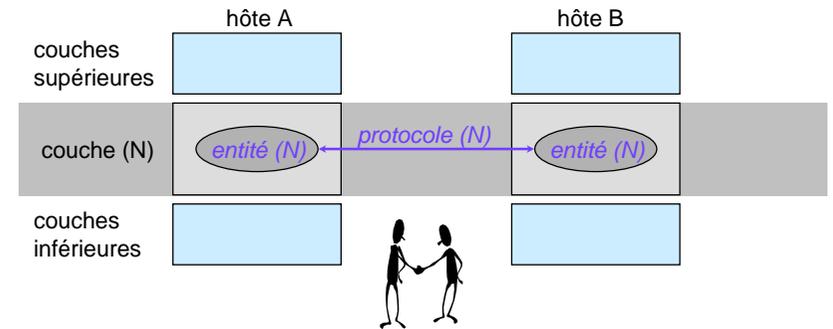


-49-

Kim Thai



## Aspect horizontal



- le *protocole* (N) définit les règles de communication à l'intérieur de la couche (N)
- les *entités* (N) représentent les éléments actifs de la couche (N)



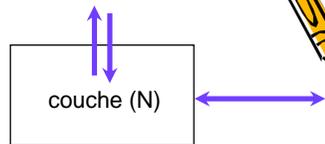
-50-

Kim Thai



## Une couche...

- ✓ une interface de service
- ✓ un protocole de communication



### ✓ Principes de l'empilement des couches

- chaque couche utilise les services de la couche inférieure
- chaque couche offre des services à la couche supérieure au travers d'une interface de service
- les entités d'une même couche communiquent entre elles selon un protocole

- ✓ Une *architecture de réseau* = un ensemble de couches

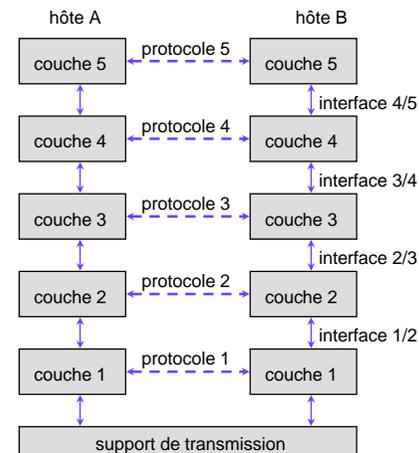


-51-

Kim Thai



## Communication virtuelle vs communication réelle



- communication *virtuelle*  
aucune donnée n'est passée directement de la couche (N) de A à la couche (N) de B
- communication *réelle*  
la couche (N) passe les données à la couche (N-1)

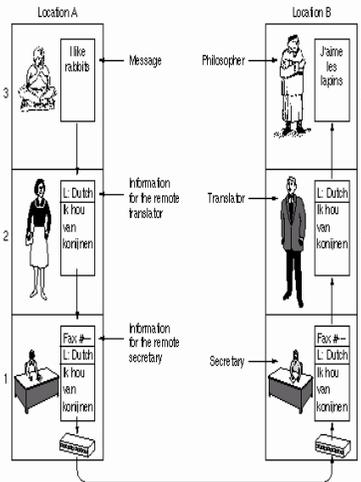


-52-

Kim Thai



## L'exemple des philosophes



- les *philosophes*...
- les *traducteurs* ajoutent de l'information qui leur est propre
- les *secrétaires* ajoutent de l'information qui leur est propre
- la *transmission* a lieu



-53-

Kim Thai



## Le modèle de référence OSI

- ✓ Open Systems Interconnection
- ✓ travaux entrepris à l'ISO en 1978
- ✓ norme parue en 1980 : IS 7498
- ✓ pourquoi faire ?
  - ↪ régler les problèmes de l'interconnexion de systèmes hétérogènes (logiciel et matériel)
- ✓ portée du modèle ?
  - ↪ il ne concerne que l'interconnexion et n'est utilisé que pour décrire les communications entre systèmes
    - modèle abstrait
    - modèle indépendant des logiciels et technologies



-54-

Kim Thai



## La normalisation ISO

### objectif

définir des règles communes

- ↪ architecture cohérente
- ↪ interconnexion possible

- préciser les concepts et la terminologie
- hiérarchiser les fonctions à réaliser
- spécifier la façon de dialoguer entre niveaux d'abstraction

### deux familles de normes

#### ■ cadre général

- Modèle de référence (IS 7498-1)
- Architecture de sécurité (IS 7498-2)
- Dénomination et adressage (IS 7498-3)
- Gestion OSI (IS 7498-4)
- Mode sans connexion (Add 1)
- Multipoint (Add 2)

#### ■ cadre spécifique

- service
- protocole



-55-

Kim Thai



## Modèle OSI

### ✓ structuration en couches

### ✓ modèle conceptuel

- il décrit ce que chaque couche doit faire
- il ne spécifie pas de services ni de protocoles

### ✓ principes de la structuration

- les fonctions doivent être divisées en groupes séparables du point de vue physique et logique
- chaque couche doit contenir un volume suffisant de fonctions
- les fonctions d'une couche doivent avoir le même niveau d'abstraction
- les interfaces entre couches doivent être aussi simples que possible
- les protocoles doivent agir uniquement à l'intérieur de la même couche
- une couche doit pouvoir être modifiée sans que soit affecté le service offert

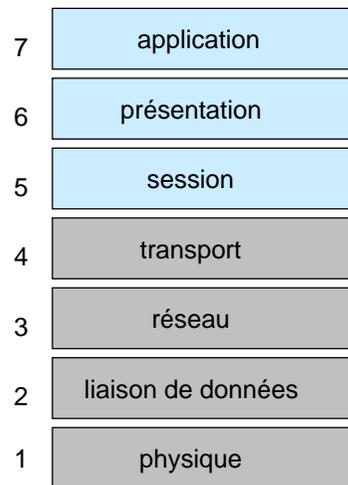


-56-

Kim Thai



## Les 7 couches OSI



### ✓ couches hautes

- rendent un service d'accès
- comportent les fonctions de traitement sur les données transportées

### ✓ couches basses

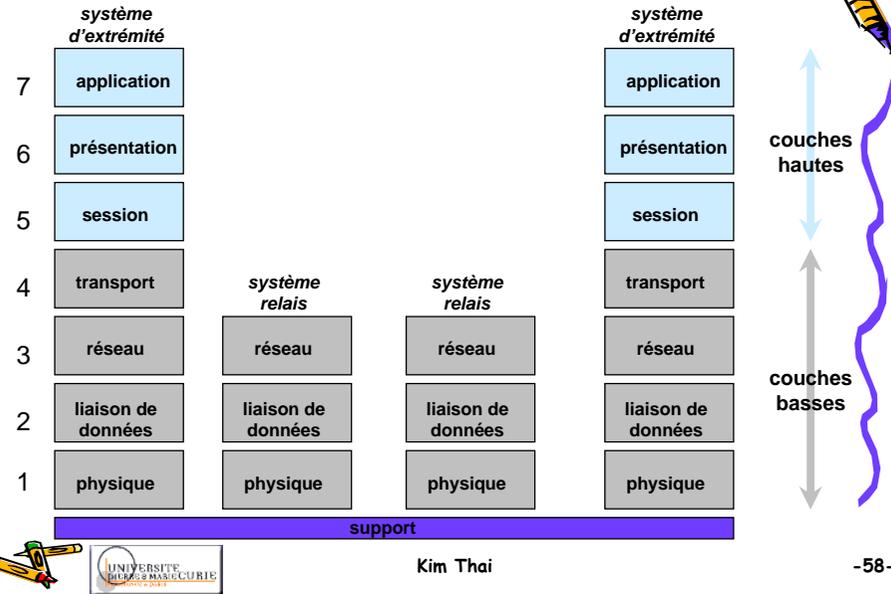
- rendent un service de transport
- comportent les fonctions de transmission de données



Kim Thai

-57-

## Les 7 couches OSI



Kim Thai

-58-

## Rôle des 7 couches

### ✓ physique

- responsable de la transmission des *bits* sur un circuit de communication
  - spécification des connecteurs
  - détermination des caractéristiques électriques des circuits
  - définition des procédures d'utilisation des connexions physiques

### ✓ liaison de données

- responsable de la transmission fiable de *trames* sur une connexion physique
  - contrôle de flux
  - contrôle d'erreur



Kim Thai

-59-

## Rôle des 7 couches

### ✓ réseau

- responsable du transfert de données à travers le réseau
  - adressage
  - routage
  - contrôle de congestion

### ✓ transport

- responsable du transfert de bout-en-bout, avec fiabilité et efficacité
  - contrôle de flux
  - reprise sur erreur
  - optimisation



Kim Thai

-60-

# Rôle des 7 couches

## ✓ session

- responsable des mécanismes nécessaires à la gestion d'une session
  - organisation du dialogue
  - synchronisation du dialogue
  - établissement et libération d'une session

## ✓ présentation

- responsable de la représentation des données échangées entre applications
  - traduction des données
  - compression
  - cryptage

## ✓ application

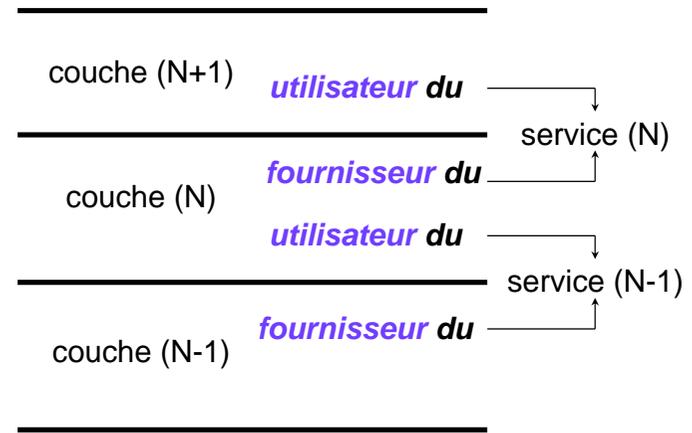
- fournir à l'utilisateur des services pour réaliser une application répartie et pour accéder à l'environnement OSI



Kim Thai

-61-

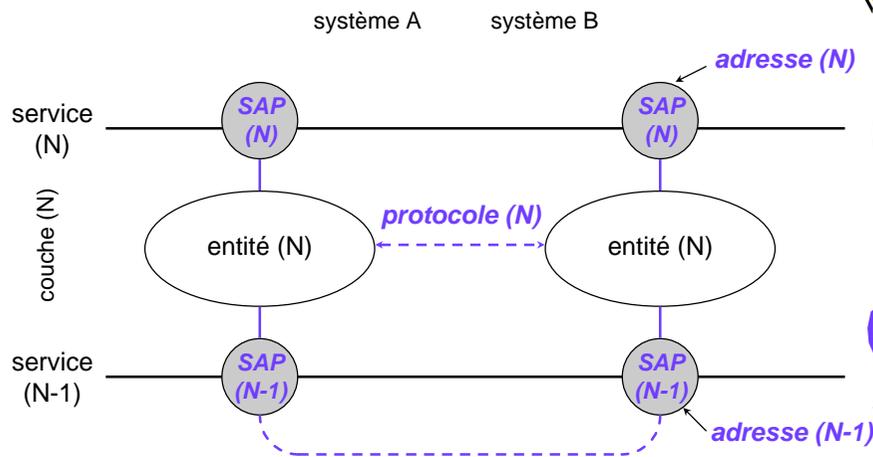
# Le vocabulaire OSI



Kim Thai

-62-

# Le vocabulaire OSI

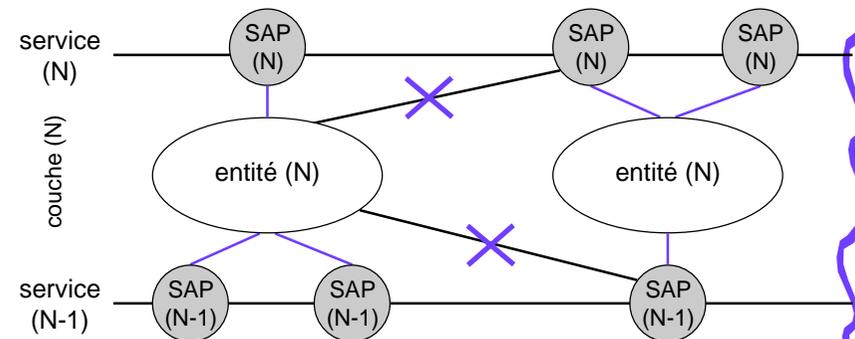


SAP : Service Access Point

Kim Thai

-63-

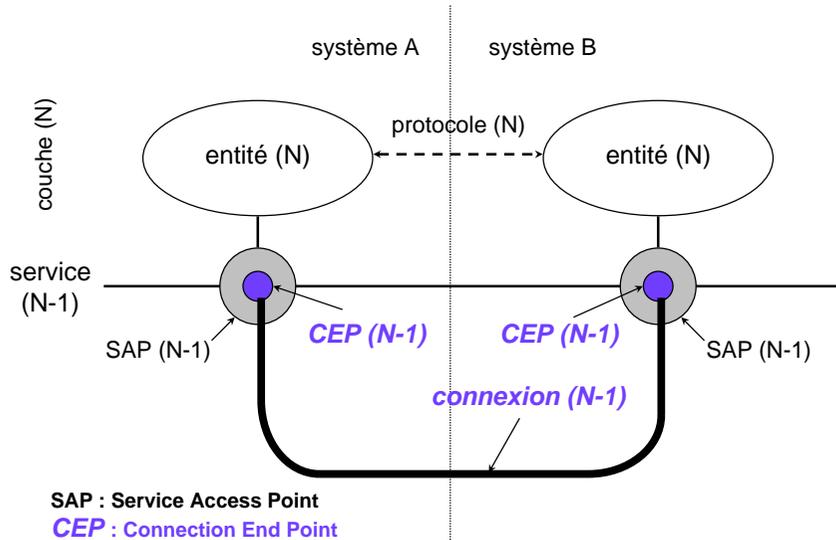
# Le vocabulaire OSI



Kim Thai

-64-

## Le vocabulaire OSI



SAP : Service Access Point  
CEP : Connection End Point



Kim Thai

-65-

## Communication en mode connecté

✓ la communication comporte 3 phases

- établissement de connexion
- transfert de données
- libération de connexion

- ☺ transfert fiable
- ☺ minimisation du volume d'information de contrôle
- ☹ procédures très lourdes (établ. et libération)
- ☹ convient mal à la diffusion d'information
- ☹ manque d'efficacité pour les échanges sporadiques



Kim Thai

-66-

## Communication en mode non connecté

✓ ni établissement ni libération

- les données échangées sont considérées comme étant des messages (*datagrammes*) complètement indépendants les uns des autres

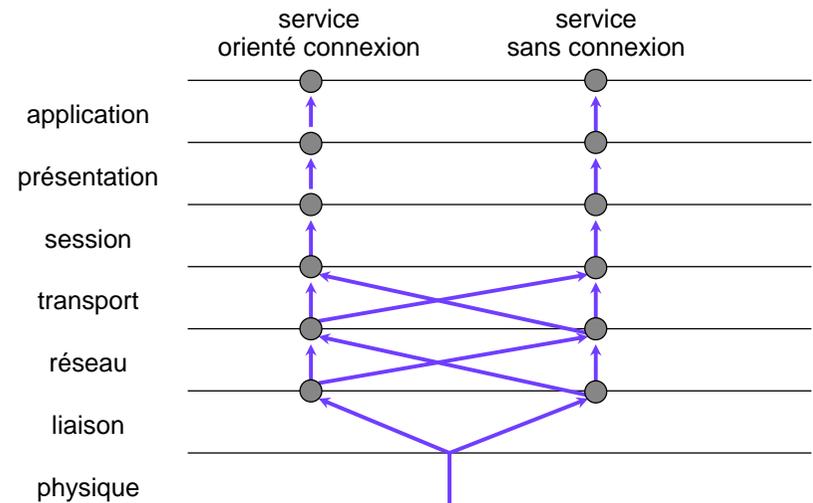
- ☺ simplicité
- ☺ robustesse
- ☹ transfert non fiable
- ☹ information de contrôle récurrente



Kim Thai

-67-

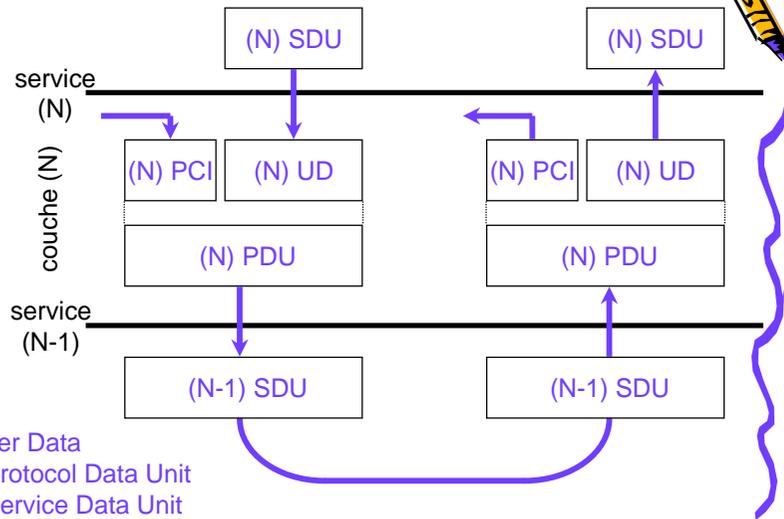
## Empilement des modes



Kim Thai

-68-

# Les unités de données



UD : User Data  
 PDU : Protocol Data Unit  
 SDU : Service Data Unit  
 PCI : Protocol Control Information



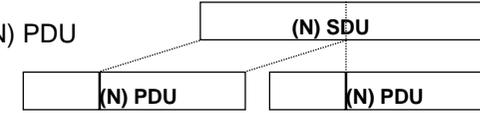
Kim Thai

-69-

# Opérations sur les unités de données

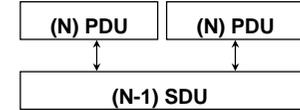
## ■ Fonction de *segmentation / réassemblage*

1 (N) SDU → m (N) PDU



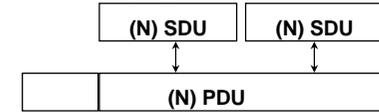
## ■ Fonction de *concaténation / séparation*

m (N) PDU → 1 (N-1) SDU



## ■ Fonction de *groupage / dégroupage*

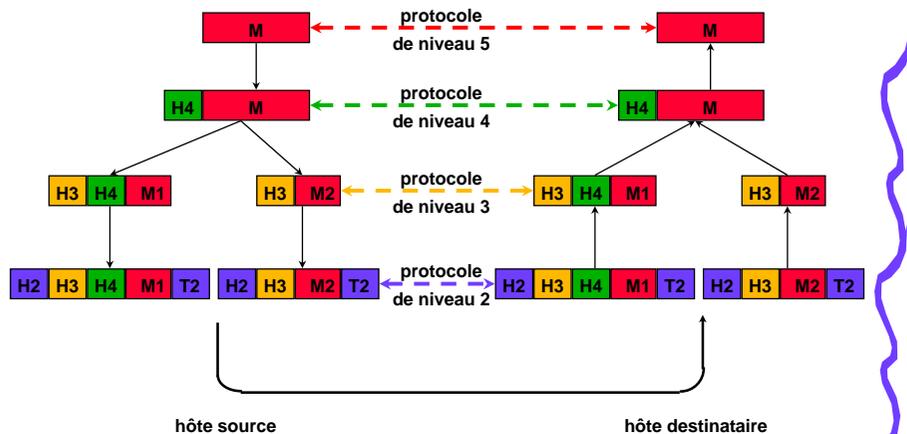
m (N) SDU → 1 (N) PDU



Kim Thai

-70-

# L'encapsulation

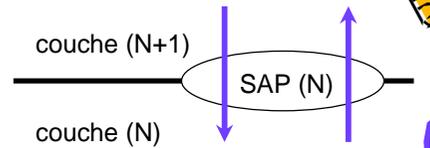


Kim Thai

-71-

# Définition des services

interaction inter-couches :  
 services offerts à partir des SAP (N)



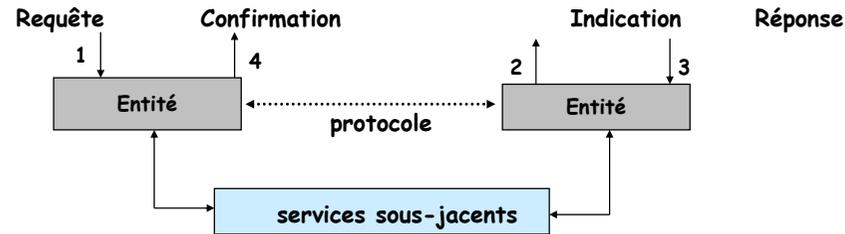
| Primitives | Signification   |
|------------|---|
| Request    | Une entité sollicite un service pour faire une activité |
| Indication | Une entité est informée d'un événement                  |
| Response   | Une entité répond à un événement                        |
| Confirm    | Une entité est informée de sa demande de service        |



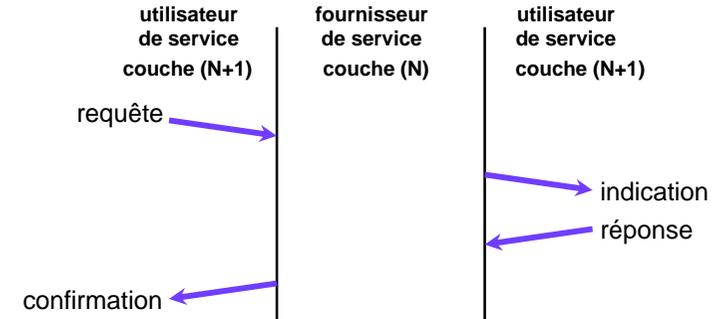
Kim Thai

-72-

## Définition des services



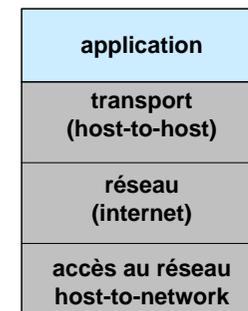
## Une autre vue des services...



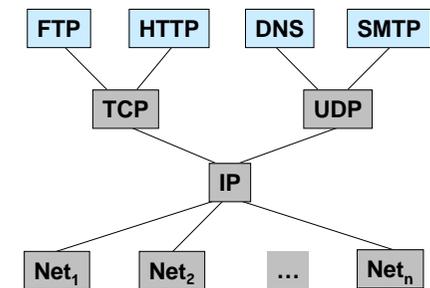
## Définition des services

- ✓ services en mode connecté
  - CONNECT : confirmé
  - DATA : confirmé ou non
  - DISCONNECT : non confirmé
- ✓ services en mode non connecté
  - UNITDATA : non confirmé
- ✓ nom des primitives
  - Initiale de la couche - Nom du service . Type de primitive
  - liste de paramètres (@, QoS, options, données, etc.)
  - ex : T-CONNECT.confirmation, N-UNITDATA.request

## L'architecture TCP/IP



architecture à 4 niveaux



graphe (simplifié) des protocoles TCP/IP

## L'architecture TCP/IP



### ✓ Les 4 couches

- la couche **application** est responsable des applications réseau
- la couche **transport** offre un service de transport de messages entre les extrémités client et serveur d'une application
- la couche **réseau** permet l'échange de données entre deux machines raccordées à des réseaux différents : elle est responsable du routage des datagrammes entre ces deux machines
- la couche **accès au réseau** traite les échanges de données entre un hôte et le réseau auquel il est attaché et se charge également du routage de données entre deux équipements rattachés au même réseau



Kim Thai

-77-

## TCP/IP vs. OSI



### ✓ 4 couches vs. 7

- pas de session, ni de présentation
- pas de couche physique
- ✓ couche réseau uniquement en mode non connecté
  - cahier des charges initial de l'ARPA
- ✓ La couche accès au réseau n'est pas une couche au sens réel du terme : c'est une interface entre les couches réseau et liaison OSI
- ✓ moins de formalisme dans la définition des couches
  - notions d'interfaces, de services ???
  - moins bonne isolation des protocoles
- ✓ ne fait pas de distinction claire entre services, interfaces et protocoles
- ✓ ne fait pas de différence entre spécification et implémentation
- ✓ n'est pas général et est très peu approprié pour décrire toute autre pile de protocoles



Kim Thai

-78-

## En résumé...



- ✓ architecture : ens. de couches et de protocoles
- ✓ décomposition en couches
  - chaque couche est responsable de la gestion d'une partie du problème
  - à chaque niveau d'abstraction donné correspond un groupe homogène de fonctions de communication
- ↔ distinguer
  - protocoles et interfaces
  - communications virtuelles et communications réelles
- 😊 avantages
  - faciliter la compréhension globale
  - simplifier la mise en œuvre
  - éviter les interactions non désirées



Kim Thai

-79-