

# Réseaux, 4<sup>e</sup> édition

Andrew Tanenbaum

## Table des matières détaillée

### Préface

### 1. Introduction

#### *1.1 Usage des réseaux d'ordinateurs*

- 1.1.1 Applications professionnelles
- 1.1.2 Applications domestiques
- 1.1.3 Utilisateurs nomades
- 1.1.4 Aspects sociaux

#### *1.2 Caractéristiques physiques des réseaux*

- 1.2.1 Réseaux locaux (LAN)
- 1.2.2 Réseaux métropolitains (MAN)
- 1.2.3 Réseaux longue distance (WAN)
- 1.2.4 Réseaux sans fil
- 1.2.5 Réseaux domestiques
- 1.2.6 Interréseaux

#### *1.3 Logiciels de réseaux*

- 1.3.1 Hiérarchies de protocoles
- 1.3.2 Principes de conception des couches
- 1.3.3 Services avec connexion et sans connexion
- 1.3.4 Primitives de service
- 1.3.5 Relations des services aux protocoles

#### *1.4 Modèles de référence*

- 1.4.1 Modèle de référence OSI
- 1.4.2 Modèle de référence TCP/IP
- 1.4.3 Comparaison des modèles de référence OSI et TCP/IP
- 1.4.4 Critique du modèle et des protocoles OSI
- 1.4.5 Critique du modèle de référence TCP/IP

#### *1.5 Exemples de réseaux*

- 1.5.1 L'internet
- 1.5.2 Réseaux avec connexion : X.25, relais de trames et ATM
- 1.5.3 Ethernet
- 1.5.4 LAN sans fil : 802.11

#### *1.6 Normalisation des réseaux*

- 1.6.1 Who's Who des télécommunications
- 1.6.2 Who's Who de la normalisation internationale
- 1.6.3 Who's Who de la normalisation de l'internet

#### *1.7 Système métrique*

#### *1.8 Aperçu de la suite de cet ouvrage*

## 1.9 Résumé

## 1.10 Exercices

# 2. La couche physique

## 2.1 Bases théoriques de la transmission des données

- 2.1.1 Analyse de Fourier
- 2.1.2 Signaux sur une bande passante étroite
- 2.1.3 Débit maximal d'un canal de transmission

## 2.2 Supports de transmission guidés : la transmission filaire

- 2.2.1 Support magnétique
- 2.2.2 Paire torsadée
- 2.2.3 Câble coaxial
- 2.2.4 Fibre optique

## 2.3 Supports de transmission non guidés : la transmission sans fil

- 2.3.1 Spectre électromagnétique
- 2.3.2 Transmission d'ondes radio
- 2.3.3 Transmission de micro-ondes
- 2.3.4 Transmission d'ondes infrarouges et millimétriques
- 2.3.5 Transmission d'ondes lumineuses

## 2.4 Satellites de télécommunications

- 2.4.1 Satellites géostationnaires (GEO)
- 2.4.2 Satellites à orbite moyenne (MEO)
- 2.4.3 Satellites à orbite basse (LEO)
- 2.4.4 Satellites *versus* fibre optique

## 2.5 Réseau téléphonique public commuté

- 2.5.1 Structure du réseau téléphonique
- 2.5.2 Orientations marquantes du système téléphonique
- 2.5.3 Desserte locale : modems, ADSL et boucle locale radio (BLR)
- 2.5.4 Artères interurbaines et multiplexage
- 2.5.5 Commutation

## 2.6 Systèmes de téléphonie mobile

- 2.6.1 Systèmes sans fil de première génération : voix analogique
- 2.6.2 Systèmes mobiles de deuxième génération : voix numérique
- 2.6.3 Systèmes mobiles de troisième génération : voix et données numériques

## 2.7 Réseau câblé de télévision

- 2.7.1 Système avec antenne collective (CATV)
- 2.7.2 L'internet par le câble
- 2.7.3 Allocation de fréquences
- 2.7.4 Modems-câble
- 2.7.5 ADSL versus le câble

## 2.8 Résumé

## 2.9 Exercices

# 3. La couche liaison de données

## 3.1 Fonctions de la couche liaison de données

- 3.1.1 Services fournis à la couche réseau

- 3.1.2 La notion de trames
- 3.1.3 Contrôle d'erreur
- 3.1.4 Contrôle de flux

### 3.2 *Détection et correction d'erreurs*

- 3.2.1 Codes correcteurs d'erreurs
- 3.2.2 Codes détecteurs d'erreurs

### 3.3 *Protocoles de liaison de données élémentaires*

- 3.3.1 Protocole simplex non restreint
- 3.3.2 Protocole simplex de type arrêt et attente
- 3.3.3 Protocole simplex pour un canal bruité

### 3.4 *Protocoles avec fenêtre d'anticipation*

- 3.4.1 Protocole à fenêtre d'une largeur de 1 bit
- 3.4.2 Protocole à fenêtre de largeur  $n$
- 3.4.3 Protocole à rejet sélectif

### 3.5 *Vérification et spécification des protocoles*

- 3.5.1 Modèles d'automates à nombre d'états finis
- 3.5.2 Réseaux de Petri

### 3.6 *Exemples de protocoles pour la couche liaison*

- 3.6.1 HDLC (High-level Data Link Control)
- 3.6.2 La couche liaison de données dans l'internet

### 3.7 *Résumé*

### 3.8 *Exercices*

## **4. La sous-couche MAC de contrôle d'accès au canal**

### 4.1 *Problème d'allocation d'un canal*

- 4.1.1 Allocation statique d'un canal sur les LAN et les MAN
- 4.1.2 Allocation dynamique d'un canal sur les LAN et les MAN

### 4.2 *Protocoles de gestion d'accès*

- 4.2.1 ALOHA
- 4.2.2 Protocoles d'accès par écoute de porteuse (CSMA)
- 4.2.3 Protocoles sans collision
- 4.2.4 Protocoles à contention limitée
- 4.2.5 Protocoles WDMA
- 4.2.6 Protocoles de LAN sans fil

### 4.3 *Ethernet*

- 4.3.1 Types de câblages Ethernet
- 4.3.2 Codage Manchester
- 4.3.3 Protocole de sous-couche MAC
- 4.3.4 Algorithme stochastique d'attente exponentielle
- 4.3.5 Performances d'Ethernet
- 4.3.6 Ethernet commuté
- 4.3.7 Fast Ethernet
- 4.3.8 Gigabit Ethernet
- 4.3.9 IEEE 802.2 (protocole LLC)
- 4.3.10 Rétrospective d'Ethernet

### 4.4 *LAN sans fil (WLAN et Wi-Fi)*

- 4.4.1 Pile de protocoles de 802.11
- 4.4.2 Couche physique de 802.11
- 4.4.3 Sous-couche MAC de 802.11
- 4.4.4 Structure d'une trame de 802.11
- 4.4.5 Services associés aux LAN sans fil

#### 4.5 *Sans fil à large bande (WMAN et WLL)*

- 4.5.1 Comparaison de 802.11 et 802.16
- 4.5.2 Pile de protocoles de 802.16
- 4.5.3 Couche physique de 802.16
- 4.5.4 Sous-couche MAC de 802.16
- 4.5.5 Structure d'une trame de 802.16

#### 4.6 *Bluetooth*

- 4.6.1 Architecture de Bluetooth
- 4.6.2 Applications de Bluetooth
- 4.6.3 Pile de protocoles de Bluetooth
- 4.6.4 Couche physique de Bluetooth
- 4.6.5 Couche bande de base de Bluetooth
- 4.6.6 Couche L2CAP de Bluetooth
- 4.6.7 Structure d'une trame Bluetooth

#### 4.7 *Commutation au niveau liaison de données*

- 4.7.1 Mise en œuvre de ponts entre des LAN 802 de types différents
- 4.7.2 Interconnexion locale
- 4.7.3 Arbre recouvrant
- 4.7.4 Ponts distants
- 4.7.5 Répéteurs, hubs, ponts, commutateurs, routeurs et passerelles
- 4.7.6 LAN virtuels (VLAN)

#### 4.8 *Résumé*

#### 4.9 *Exercices*

### **5. La couche réseau**

#### 5.1 *Problèmes de conception de la couche réseau*

- 5.1.1 Commutation de paquets en mode différé (*store-and-forward*)
- 5.1.2 Services fournis à la couche transport
- 5.1.3 Implémentation d'un service sans connexion
- 5.1.4 Implémentation d'un service avec connexion
- 5.1.5 Sous-réseau de datagrammes *versus* sous-réseau de circuits virtuels

#### 5.2 *Algorithmes de routage*

- 5.2.1 Principe d'optimalité
- 5.2.2 Routage du plus court chemin
- 5.2.3 Routage par inondation
- 5.2.4 Routage par vecteur de distance
- 5.2.5 Routage par informations d'état de lien
- 5.2.6 Routage hiérarchique
- 5.2.7 Routage broadcast
- 5.2.8 Routage multicast
- 5.2.9 Routage pour les hôtes mobiles
- 5.2.10 Routage dans les réseaux ad hoc

#### 5.2.11 Recherche de nœuds sur les réseaux peer-to-peer

### 5.3 Algorithmes de contrôle de congestion

#### 5.3.1 Principes généraux du contrôle de congestion

#### 5.3.2 Stratégies préventives contre la congestion

#### 5.3.3 Contrôle de congestion sur les sous-réseaux de circuits virtuels

#### 5.3.4 Contrôle de congestion sur les sous-réseaux de datagrammes

#### 5.3.5 Délestage de charge

#### 5.3.6 Contrôle de la gigue

### 5.4 Qualité de service

#### 5.4.1 Exigences

#### 5.4.2 Techniques de gestion de la qualité de service

#### 5.4.3 Services intégrés

#### 5.4.4 Services différenciés

#### 5.4.5 Commutation par étiquettes et MPLS

### 5.5 Interconnexion de réseaux

#### 5.5.1 Différences entre les réseaux

#### 5.5.2 Équipements d'interconnexion

#### 5.5.3 Interconnexion : modèle à circuits virtuels concaténés

#### 5.5.4 Interconnexion : modèle à datagrammes

#### 5.5.5 Technique du tunnel

#### 5.5.6 Routage dans un interréseau

#### 5.5.7 Fragmentation

### 5.6 Couche réseau dans l'internet

#### 5.6.1 Protocole IP

#### 5.6.2 Adresses IP

#### 5.6.3 Protocoles de contrôle de l'internet

#### 5.6.4 Protocole OSPF

#### 5.6.5 Protocole BGP

#### 5.6.6 Diffusion multicast sur l'internet

#### 5.6.7 Protocole IP mobile

#### 5.6.8 Protocole IPv6

### 5.7 Résumé

### 5.8 Exercices

## 6. La couche transport

### 6.1 Service transport

#### 6.1.1 Services fournis aux couches supérieures

#### 6.1.2 Primitives du service transport

#### 6.1.3 Sockets de Berkeley

#### 6.1.4 Exemple de programmation d'un socket : un serveur de fichiers internet

### 6.2 Éléments de protocoles de transport

#### 6.2.1 Adressage

#### 6.2.2 Établissement d'une connexion

#### 6.2.3 Libération d'une connexion

#### 6.2.4 Contrôle de flux et mémorisation

#### 6.2.5 Multiplexage

#### 6.2.6 Reprise après incident

### 6.3 *Protocole de transport simple*

- 6.3.1 Exemple de primitives
- 6.3.2 Exemple d'entité de transport
- 6.3.3 Protocole en tant que machine à états finis

### 6.4 *Protocoles de transport internet : UDP*

- 6.4.1 Introduction à UDP
- 6.4.2 RPC : appel de procédure à distance
- 6.4.3 Protocole de transport en temps réel

### 6.5 *Protocoles de transport internet : TCP*

- 6.5.1 Introduction à TCP
- 6.5.2 Modèle de service TCP
- 6.5.3 Protocole TCP
- 6.5.4 En-tête du segment TCP
- 6.5.5 Établissement d'une connexion TCP
- 6.5.6 Libération de la connexion TCP
- 6.5.7 Gestion de la connexion TCP
- 6.5.8 Politique de transmission de TCP
- 6.5.9 Contrôle de la congestion par TCP
- 6.5.10 Gestion des timers TCP
- 6.5.11 TCP et UDP sans fil
- 6.5.12 TCP transactionnel

### 6.6 *Problèmes de performances*

- 6.6.1 Problèmes de performances dans les réseaux
- 6.6.2 Mesure des performances d'un réseau
- 6.6.3 Conception de systèmes plus performants
- 6.6.4 Traitement rapide des TPDU
- 6.6.5 Protocoles des réseaux gigabits

### 6.7 *Résumé*

### 6.8 *Exercices*

## **7. La couche application**

### 7.1 *DNS (Domain Name System)*

- 7.1.1 Espace de noms du système DNS
- 7.1.2 Enregistrements de ressources
- 7.1.3 Serveurs de noms

### 7.2 *Messagerie électronique*

- 7.2.1 Architecture et services
- 7.2.2 Agent utilisateur
- 7.2.3 Formats de messages
- 7.2.4 Transfert de messages
- 7.2.5 Remise finale

### 7.3 *La Toile (World Wide Web)*

- 7.3.1 Présentation de l'architecture
- 7.3.2 Documents Web statiques
- 7.3.3 Documents Web dynamiques
- 7.3.4 Protocole HTTP
- 7.3.5 Amélioration des performances

### 7.3.6 Web sans fil

## 7.4 Multimédia

### 7.4.1 Introduction à l'audio numérique

### 7.4.2 Compression audio

### 7.4.3 Streaming audio

### 7.4.4 Radio sur l'internet

### 7.4.5 Voix sur IP

### 7.4.6 Introduction à la vidéo

### 7.4.7 Compression vidéo

### 7.4.8 Vidéo à la demande

### 7.4.9 MBone

## 7.5 Résumé

## 7.6 Exercices

# 8. La sécurité des réseaux

## 8.1 Cryptographie

### 8.1.1 Introduction à la cryptographie

### 8.1.2 Chiffres de substitution

### 8.1.3 Chiffres de transposition

### 8.1.4 Masques jetables (*one-time pad*)

### 8.1.5 Les deux principes fondamentaux de la cryptographie

## 8.2 Algorithmes à clé symétrique

### 8.2.1 DES : le standard de chiffrement de données

### 8.2.2 AES (*Advanced Encryption Standard*)

### 8.2.3 Modes de chiffrement

### 8.2.4 Autres chiffrements

### 8.2.5 Cryptanalyse

## 8.3 Algorithmes à clé publique

### 8.3.1 RSA

### 8.3.2 Autres algorithmes à clé publique

## 8.4 Signatures numériques

### 8.4.1 Signatures à clé symétrique

### 8.4.2 Signatures à clé publique

### 8.4.3 Condensats de messages

### 8.4.4 Attaque de l'anniversaire

## 8.5 Gestion des clés publiques

### 8.5.1 Certificats

### 8.5.2 X.509

### 8.5.3 Infrastructures de clés publiques

## 8.6 Sécurité des communications

### 8.6.1 IPsec

### 8.6.2 Gardes-barrières

### 8.6.3 Réseaux virtuels privés

### 8.6.4 Sécurité des transmissions radio

## 8.7 Protocoles d'authentification

### 8.7.1 Authentification fondée sur une clé secrète partagée

- 8.7.2 Établissement d'une clé partagée : l'échange de clés de Diffie-Hellman
- 8.7.3 Authentification à l'aide d'un centre de distribution de clés
- 8.7.4 Authentification au moyen de Kerberos
- 8.7.5 Authentification par cryptographie à clé publique
- 8.8 *Sécurité du courrier électronique*
  - 8.8.1 PGP (*Pretty Good Privacy*)
  - 8.8.2 PEM, *Privacy Enhanced Mail* (courrier personnel amélioré)
  - 8.8.3 S/MIME
- 8.9 *Sécurité du Web*
  - 8.9.1 Menaces
  - 8.9.2 Appellations sécurisées
  - 8.9.3 SSL (*Secure Sockets Layer*)
  - 8.9.4 Sécurité des pages dynamiques
- 8.10 *Problèmes sociaux*
  - 8.10.1 Vie privée
  - 8.10.2 Liberté d'expression
  - 8.10.3 Copyright
- 8.11 *Résumé*
- 8.12 *Exercices*