

Introduction aux RÉSEAUX de Communication

1^{ère} année

Ensimag

Roland Groz

Ghislaine Maury

Contenu du cours

(Chapitres, sous-chapitres, *TD* et *TP* associés)

ATTENTION: selon les années, l'ordre et les numéros des TD peuvent changer.

Intro. Introduction

- Objectifs et présentation du cours
- Les réseaux de communication et les autres réseaux

Concepts et organisation de réseaux (Internet) : ARchitecture et PRotocolos, AR et PR

AR1 ARchitecture.

- Identification des problèmes à traiter :
 - Information numérique, codage
 - Adressage, routage, recherche de chemins
 - Organisation du dialogue, protocoles, modularité
- Architecture matérielle
- Architecture logique, modèles en couches de protocoles

PR1. PRotocolos, généralités:

- Formats et procédures
- En-tête et encapsulation
- Dialogue réparti, diagramme temporels

TD1&2 : Modélisation en couches, analyse de traces, diagrammes temporels, analyse et décodage d'en-têtes

TP1 : Observations de l'internet, outils ping, traceroute, netstat, Wireshark

AR2. Adresses et interconnexion de réseaux

- Adresses et niveaux
- Adresses IP et sous-réseaux
- Traduction d'adresses
- Architecture d'interconnexion

AR3. Recherches d'adresses

- Protocoles de recherche d'adresses
- Résolution de noms (DNS)
- Whois

TD2 : Adresses

TP2 : DNS, whois, adresses ; configuration de réseaux

PR2. Algorithmique répartie

- Fiabilisation des échanges
- TCP
- Consensus réparti (généraux byzantins), preuve de protocoles...
- Protocoles de synchronisation

TD5 : Analyse de protocoles

Applications typiques de l'Internet : AP

APplications :

- Session à distance (telnet, ssh), X11
- Compléments de sécurité (pare-feux)
- Web
 - HTTP
 - Scripts CGI, Applets Java

- Cookies, caches
- Sécurité du Web
- Courrier électronique (mél, courriel) : transfert de courrier électronique (SMTP), format MIME

TD3 : Webmail

TP3 : Mél, protocoles SMTP, POP, IMAP

TP4 : Serveur Web (Apache), sécurisation, certificats

Aspects « Non Fonctionnels » : NF

NF. Performances :

- Analyse des délais dans les réseaux par paquets
- Calcul de la latence

TD6 : Calcul de performances

Techniques de communications numériques : CN

CN1. Outils mathématiques pour la communication numérique

- Distribution de Dirac
- Transformée de Fourier
- Filtres,.

CN2. Contraintes fréquentielles

- Débit symboles et débit binaire
- Codes en ligne
- Filtrage de Nyquist

CN3. Contraintes en terme de puissance émise

- Bruit et filtrage adapté
- Estimation du taux d'erreurs binaires

TD7 : Codes en ligne : propriétés spectrales et temporelles

CN4. Modulations

- Principe des modulations IQ
- Evolutions des formats de modulations

TD8 : Modulation QAM

Bibliographie

Cours sur les réseaux Internet en français

NB : des exemples d'éditions disponibles en bibliothèques sont données ci-dessous, mais il est bien sûr possible d'utiliser des rééditions plus récentes.

1. J. Kurose & K. Ross, Analyse structurée des réseaux, (sous-titre: *Des applications de l'internet aux infrastructures de télécommunication*) Pearson Education, 2^e édition, 2003. 788 pages
Ouvrage centré sur l'Internet. Approche de découverte d'Internet en partant des applications, et en descendant dans les couches vers le cœur du réseau.
2. A. Tanenbaum, D. Wetherhall, Réseaux et sécurité, Pearson Education, 5^e édition, 2011. 958 pages
La référence classique sur les réseaux. A l'inverse du précédent, approche de construction progressive du bas (le support physique) vers le haut (les applications), en montant progressivement dans les couches de protocoles. Version anglaise disponible à la Bibus.
3. P. Rolin, G. Martineau, L. Toutain, A. Leroy, Les réseaux, principes fondamentaux, Hermès, 1997. 574 pages.
Le concurrent français du Tanenbaum. Un peu moins digeste.
4. G. Pujolle, Initiation aux réseaux : cours et exercices, Eyrolles, 2000. 448 pages.
Un classique en français..
5. W. Stevens, TCP/IP Illustré, Vol.1: Les protocoles, Vuibert, 1998. 590 pages.
Pas un livre de cours, mais un ouvrage de référence sur les protocoles Internet, pour ceux qui veulent creuser le sujet au-delà des TP. Ceci vaudra surtout pour le cours de réseaux en 2^e année.

Cours sur la transmission des informations

6. M. Joindot, A. Glavieux, Introduction aux communications numériques, Editions Dunod, 2007.
Ouvrage de base sur les communications numériques – dans cours 1A, seul cas du canal idéal traité.
7. P. Lecoy, Principes et technologies des télécoms, Hermès Science Publications 2005.
Ouvrage de synthèse présentant les principes, les technologies et le fonctionnement des systèmes et réseaux de télécommunications.
8. X. Lagrange, Ph. Godlewski, S. Tabbane, Réseaux GSM, Hermès 2000, 521 pages.
Le principal livre en français sur le GSM ; assez didactique – bonne présentation de la liste des recommandations GSM.

Cryptographie et sécurité

9. B. Martin Codage, cryptologie et applications, Collection Technique et Scientifique des Télécommunications (CTST), Presses Polytechniques et universitaires Romandes, 2004, 350 pages.
Ce livre constitue une bonne introduction à la fois à la théorie de l'information, à la théorie des codes et à la cryptographie.
10. G. Avoine, Pascal Junod, Philippe Oechslin, Sécurité Informatique, Vuibert..
Ce livre est issu de travaux pratiques réalisés à l'EPFL. Il constitue à la fois un recueil d'exercices et une bonne introduction aux aspects pratiques de la sécurité.
11. D. Stinson Cryptographie, théorie et pratique, Vuibert 2003 (2^{ème} édition), 338 pages.
Ce livre couvre bien les différents aspects de la cryptographie, avec un niveau de mathématiques adéquat pour des Ensimag 1A.
12. B. Schneier Cryptographie appliquée, Wiley, International Thomson Publishing France, 1997 2^e édition. 846 pages.

Ouvrage présentant les principaux aspects de la cryptographie qui seront étudiés à l'Ensimag. Aborde brièvement quelques autres aspects de la sécurité en fin d'ouvrage, mais surtout d'un point de vue institutionnel. NB : bien que ce livre soit recommandé par d'autres professeurs, il me semble peu adapté aux Ensimag, visant plutôt un public de programmeurs de bas niveau sans formation mathématique.

13. W. Stallings Cryptography and Network Security, Pearson 2006, 4^e édition, 680 pages.
Couverture plus large du thème de la sécurité que l'ouvrage de Schneier. L'intérêt de ce livre est qu'il va au-delà de la simple cryptographie, abordant plus largement la sécurité des réseaux.
14. Jean-Guillaume Dumas, Jean-Louis Roch, Eric Tannier, Sébastien Varrette. Théorie des codes: Compression, cryptage, correction, Dunod 2007.
Ce livre correspond en fait au polycopié du cours de 2A Ensimag sur le même sujet. Pour ceux qui veulent prendre de l'avance.

Supports pour ce cours

Toutes les informations relatives à ce cours sont disponibles sur le Chamilo sur l'Intranet Ensimag. Les références ci-dessus ne vous sont pas indispensables, elles ne servent que de complément d'information pour ceux qui voudraient approfondir au-delà du cours.

Normes

Les normes jouent un grand rôle dans les réseaux de communication, parce que la capacité à interconnecter des machines pour former un réseau suppose de s'être mis d'accord entre les constructeurs et les pays sur les techniques d'échanges de l'information.

Voici une liste partielle des principaux organismes de normalisation et des exemples de normes produites (chaque organisme en produit des milliers)

1. Télécoms

- UIT (*Union Internationale des Télécommunications*) – ITU en anglais
 - Recommandations UIT-T pour les communications filaires ; par exemple X.25, G.711, H.323, V.23, Z.500
 - Recommandations UIT-R pour les radiocommunications
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)
 - Normes : GSM

2. Normes internationales

- ISO (*Organisation Internationale de Normalisation*)
NB : contrairement à une opinion répandue, ce n'est pas un sigle anglais, le nom anglais étant International Organisation for Standardization. ISO est une référence au préfixe grec iso- puisque la norme vise à mettre au même niveau les produits, les interfaces. Et le grec est une base fondamentale du patrimoine culturel mondial !
 - Normes : SGML

3. Normes nationales

- AFNOR (F), BSI (UK), DIN (D), ANSI (USA)
 - Normes : ANSI-C, NFxxx

4. Internet

- ICANN (*International Coordination for Assignment of Names*)
- IETF (*Internet Engineering Task Force*)
 - RFC (*Request For Comments*) : RFC 791 – IP ;

5. WWW

- W3C (*WWW Consortium*)
 - Recommandations : HTML, XML

6. Autres consortiums ad hoc

- FIP : bus de terrains, pour la communication fiable filaire dans les milieux industriels
- SDR : Software Defined Radio, radio logicielle, protocoles bas niveau reprogrammables
- TMF : gestion de réseaux
- WiMAX Forum
- OASIS : web services

Et une multitude d'autres...

7. Autres organismes produisant des standards dans le domaine des communications

- CEI: Commission Électrique Internationale, beaucoup de normes conjointes avec l'ISO
- IEEE (USA): société savante américaine (équivalent France: SEE). Exemples de normes:
 - Ethernet (IEEE 802.3)
 - Wifi (IEEE 802.11)
- NIST (USA)

...

Glossaire

ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)

Technique de modulation de signal permettant d'augmenter le débit sur la partie finale en cuivre d'une ligne d'abonné téléphonique.

Analogique

Un signal est dit analogique lorsqu'il représente par la variation d'une grandeur physique (en général un courant électrique ou un champ électromagnétique) la variation de l'information qu'il représente. Par exemple le son (variation de pression dans l'air) sera transformé par un micro en variation d'un courant électrique. La forme de l'onde électrique sera analogue à celle de l'onde sonore.

BAS (*Broadband Access Server*)

Équipement de raccordement entre les DSLAM et le cœur de réseau d'un fournisseur d'accès Internet.

Baud

Unité de rapidité de modulation d'une transmission numérique, exprimée en nombre d'états transmis par seconde (à ne pas confondre avec le débit d'information exprimé en bps)

bps ou b/s (*bits par seconde*)

Débit d'information, exprimée en bits, d'une transmission numérique pendant une seconde

CGI (*Common Gateway Interface*)

Mécanisme permettant le calcul de pages de réponse dynamique sur WWW.

Chiffrement

Action qui consiste à transformer une information pour la rendre incompréhensible par un lecteur non autorisé. Le chiffrement relève de la cryptographie (étymologiquement « écriture cachée »). Ne pas confondre avec codage.

Codage

Action d'adapter des informations au support par lequel elle vont être stockées (on parle de codage source) ou transmises (codage canal). On peut ainsi coder un discours en français par un texte écrit sur papier, selon le code de transcription défini par l'orthographe et l'usage de l'alphabet latin. Cette information peut à son tour être codée en octets sur un support informatique. Pour l'envoyer à distance, on codera les bits correspondants par une modulation (c'est à dire des variations en amplitude ou en phase) d'un signal électromagnétique. À distinguer de chiffrement : le codage ne cherche pas à cacher l'information aux non-initiés, simplement à l'adapter à son support.

Codec (*codeur/décodeur*)

Circuit électronique assurant la transformation d'un signal analogique en signal numérique (et vice-versa). Il y a des codec pour la voix, des codec pour l'image animée (codec MPEG) etc.

Commutateur

Équipement qui permet de relier des circuits entrants à des circuits sortants, et de changer automatiquement et rapidement ces liens. On parle aussi d'autocommutateur pour la

téléphonie (auto- faisant référence à l'automatisation par rapport à l'époque manuelle des « demoiselles du téléphone »).

Contrôle de flux

Procédé utilisé pour réguler les échanges entre deux points d'un réseau. Il s'agit en général de limiter le débit envoyé par l'émetteur afin d'éviter de saturer les capacités de traitement du récepteur.

Dégroupage

Ouverture de la boucle locale d'abonné à des opérateurs tiers. En termes moins techniques, cela veut dire que l'opérateur historique France Télécom doit permettre à d'autres sociétés (comme Free) d'utiliser ses câbles de cuivre qui raccordent chaque maison et immeuble au réseau. Le dégroupage peut être partiel (partie haute du spectre seulement : communications numériques) ou total (tout le spectre accessible à l'opérateur tiers, qui gère donc aussi la bande de base téléphonique).

DNS (*Domain Name System*)

Système de nommage symbolique sur l'Internet qui permet d'associer à une adresse IP (suite de nombres) une chaîne de caractères.

DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*)

Équipement regroupant des modems ADSL pour raccorder un ensemble de lignes d'abonnés (téléphoniques) et les concentrer sur un lien vers le cœur de réseau.

Duplex: full-duplex (*bi-directionnel simultané*), **half-duplex** (*à l'alternat*)

Lorsqu'un canal de communication permet aux deux côtés d'émettre en même temps, on parle de communication « full-duplex » (bi-directionnelle simultanée) ; par opposition au mode où lorsqu'un côté émet, l'autre ne peut qu'écouter avant de prendre la parole à son tour, comme par exemple avec des talkies-walkies, mode que l'on qualifie de « half-duplex » (communication à l'alternat). Le mot duplex fait référence au fait que la même ligne de communication permet d'acheminer l'information dans les deux sens.

Ethernet

Réseau local qui fonctionne selon le principe d'accès aléatoire au canal de transmission.

FAI (*Fournisseur d'Accès Internet*) en anglais **ISP** (*Internet Service Provider*)

Entreprise (ou service) par lequel un utilisateur d'Internet se raccorde effectivement au réseau Internet. Par exemple (en France) : Wanadoo, AOL, Free etc. Mais il y en a de multiples à de multiples niveaux ; ainsi, pour les étudiants de l'Ensimag, c'est l'école qui est votre FAI. Pour l'école, son FAI est le réseau du campus, dont le FAI est Renater (réseau national reliant les universités et les laboratoires de recherche) ; pour l'interconnexion au reste du monde, Renater choisit chaque année comme FAI l'opérateur de télécommunications qui lui fournit le meilleur prix.

Fax (*Contraction du latin « fac simile » signifiant « faire une copie », sous-entendu à distance*)

Transmission à distance d'une copie de l'image d'une feuille de papier. A succédé dans les années 1980 au béliographe qui existait depuis 1907. En français soutenu on parlera de « télécopie », mais l'usage du mot fax venu du latin via l'anglais s'est imposé.

FTP (*File Transfer Protocol*)

Application de transfert de fichiers entre deux systèmes distants.

FTTB, FTTH (*Fiber To The Building, Fiber To The Home*)

Infrastructure de réseaux dans laquelle le support de transmission est de la fibre optique dans l'intégralité du réseau central, jusqu'au plus proche du client, selon le cas jusqu'à un immeuble (FTTB) ou jusqu'à l'entrée du domicile (FTTH).

GSM (*Global System for Mobile communications – ex-Groupe Spécial Mobiles*)

Normes définissant les systèmes de téléphonie mobile numérique (téléphonie mobile) de 1^{ère} génération (années 1990 et 2000), remplacées maintenant pour la partie radio par les normes UMTS 3G (3^{ème} génération), 4G et 5G, qui gardent cependant les principes de base et l'essentiel de l'architecture du GSM (mais avec des techniques de transmission radio complètement différentes).

Hôte

Machine informatique en extrémité de réseau capable d'héberger (d'où son appellation) des applications Internet (comme le Web, le mél...), c'est à dire d'exécuter les programmes correspondants..

HTML (*HyperText Markup Language*)

Langage de spécification de documents structurés sur le WWW.

HTTP (*HyperText Transfer Protocol*)

Protocole d'accès aux documents sur le WWW.

Hub

Répéteur multiport (« port » au sens d'interface physique = « prise ») qui permet la connexion de plusieurs stations sur Ethernet.

Internet

Ensemble des réseaux utilisant le protocole TCP/IP et son adressage. Interconnexion de tous ces réseaux à l'échelle mondiale.

Intranet

Equivalent de l'Internet au sein d'une entreprise : interconnexion des réseaux au sein de l'entreprise. Par extension, souvent confondu également avec les applications de type WWW accessibles sur cet Intranet.

IP (*Internet Protocol*)

Protocole de niveau réseau qui fonctionne en mode datagramme ; utilisé comme support d'interconnexion par le réseau Internet.

ISP (*Internet Service Provider*)

.Voir FAI.

LAN (*Local Area Network*)

Réseau local, c'est à dire permettant de raccorder des machines informatiques à l'échelle d'un bâtiment. L'interconnexion de réseaux locaux à l'échelle d'une ville s'appelle MAN (Metropolitan Area Network), et d'un pays ou du monde un WAN (Wide Area Network).

MAC (*Medium Access Control*)

Couche responsable de la gestion d'accès au support de transmission sur un réseau local.

MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*)

Protocole (format) de structuration des éléments de messagerie permettant l'échange de données multimédia.

Modem (*Modulateur/démodulateur*)

Équipement assurant la conversion des signaux numériques en signaux physiques pour les transmettre sur une liaison analogique. En particulier pour la conversion des signaux numériques issus d'un ordinateur à faire passer comme des signaux sonores sur une liaison téléphonique.

Multiplexage

Procédé consistant à combiner des signaux provenant de plusieurs voies de communications en entrée d'un nœud pour les retransmettre sur une seule voie de communication en sortie.

Numérique (par opposition à analogique)

Une information est mise sous forme numérique lorsqu'elle est représentée (codée) par une suite de nombres (binaires, donc des bits). Un signal analogique est numérisé lorsqu'on représente ses variations par une suite de bits permettant de reconstituer sa forme. NB l'adjectif digital n'est employé que par les illettrés (anglo-saxons ? :-)) qui ne savent compter que sur leurs doigts (« digit » signifie « chiffre » en anglais).

OSI (*Open Systems Interconnection*)

Modèle de référence définissant les architectures de communications par une répartition des fonctions logiques en protocoles organisés en couches superposées. L'ouverture (Open) fait référence à l'aspect hétérogène (multi-constructeur) des machines raccordées. Ne pas confondre ISO, organisme de normalisation internationale, et OSI qui n'est que l'une des dizaines de milliers de normes produites par l'ISO.

PABX (*Private Automatic Branch eXchange*)

Autocommutateur téléphonique privé, en d'autres termes, central téléphonique pour une entreprise.

Paquet

Unité d'échange de données au niveau réseau.

PCM (*Pulse Coded Modulation*)

Technique de numérisation de la voix, selon la norme G.711. Le signal analogique vocal est transformé en un signal numérique à 64 kb/s.

PDU (*Protocol Data Unit*)

Message envoyé par une couche de protocole d'une machine à la même couche d'une autre machine. Un PDU de niveau 2 (liaison) est appelé trame, de niveau 3 (réseau) est appelé paquet, de niveau 4 (transport) est appelé segment.

Port

Comme numéro logique (élément d'adressage des protocoles TCP et UDP) : sous-adresse permettant d'aiguiller des messages vers une application spécifique ; ainsi plusieurs applications sur une même machine peuvent se partager un même accès au réseau pour établir des connexions indépendantes. La notion de port est bien sûr aussi utilisée dans le domaine matériel pour désigner une interface physique d'un système (une prise où l'on peut brancher un connecteur). Ne pas confondre les ports virtuels de TCP (par ex. le port 22 pour ssh) et les ports physiques (USB, RS232...) de la machine. Tout le trafic TCP passe par le

port physique d'accès au réseau (en général de type RJ45, sauf si on est en Wifi ou à domicile sur un modem).

POTS (*Plain Old Telephone System – Bon vieux téléphone analogique*)

Désigne les systèmes téléphoniques analogiques classiques, destinés uniquement à l'acheminement de la voix, sans services de transfert de données ou services « supplémentaires » autour du transport de la voix (comme l'identification de l'appelant etc).

PPP (*Point-to-Point Protocol*)

Protocole de liaison pour des connexions par modem sur voie téléphonique.

RFC (*Request For Comments*)

Mot utilisé pour désigner les standards de l'internet, définis par l'IETF.

Routeur

Équipement qui reçoit des paquets sur des liaisons entrantes et les envoie selon la table de routage en fonction de l'adresse de destination vers une liaison sortante.

RPV (*Réseau Privé Virtuel*)

VPN en anglais (voir ce mot). Un opérateur peut mettre à la disposition d'un client une partie des ressources de son réseau pour que ce client dispose ainsi d'un sous-réseau qui lui soit réservé (dédié), qu'il loue ainsi à l'opérateur. C'est ce sous réseau qu'on appelle RPV. Il est virtuel parce que, bien que tout se passe comme si le client avait ses propres lignes, celles-ci sont en fait partagées avec d'autres. Une des fonctions essentielles des VPN est donc de permettre la confidentialité des informations par des fonctions de chiffrement.

RTCP (*Réseau Téléphonique Commuté Public*)

Sigle technique habituel en français pour désigner le réseau de téléphonie fixe classique. En anglais, on utilise PSTN (Public Switched Telephone Network); voir aussi le sobriquet POTS.

RTT (*Round Trip Time*)

Temps d'aller-retour : dans une communication entre un site source et une destination, désigne le temps que mettra l'émetteur avant de recevoir la réponse du destinataire, en supposant que celui-ci réponde immédiatement. Il dépend de la distance, du nombre de machines intermédiaires, de la charge du réseau, voire des débits disponibles.

SAP (*Service Access Point*)

Point d'accès au service : c'est l'interface haute du couche par laquelle on accède au service rendu par cette couche. Par exemple, une bibliothèque de communication par « sockets » qui implante un protocole TCP a une interface définie par des fonctions (en général implantées en C) de type open(), close(), send() etc. qui constituent un point d'accès au service TCP.

SDU (*Service Data Unit*)

« Message » passé d'une couche à une couche adjacente. Cela peut prendre souvent la forme d'un appel de fonction, avec passage du contenu dans les paramètres de l'appel, ou de retour de fonction avec passage du contenu dans un pointeur vers une zone mémoire où se trouvent les données destinées à la couche supérieure. Ce peut être aussi un message entre processus si les deux couches s'exécutent dans deux processus différents du système d'exploitation (donc pas de mémoire partagée) etc. On s'abstrait des particularités de l'implantation en parlant dans tous les cas d'un SDU.

Segment

Unité d'échange de données au niveau transport.

Signalisation

Ensemble des signaux et des fonctions qui sont utilisés pour contrôler une communication téléphonique (établissement, acheminement, taxation, services supplémentaires, ...). La signalisation peut être en ou hors bande, transmise sur des canaux séparés ou non

Socket

Interface de programmation pour les protocoles de transports TCP et UDP : c'est la donnée primitive offerte par le système aux programmeurs pour utiliser une connexion. En termes d'architectures OSI, c'est le point d'accès au service (SAP) de communication fourni aux applications de l'utilisateur.

SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*)

Protocole de transfert du courrier électronique.

Télex

Réseau précurseur des réseaux de données actuels, il a constitué une transition entre le télégraphe classique et le fax puis l'Internet. Comme le télégraphe il servait à la transmission de textes constitués de lettres et de nombres. Comme le fax il a essentiellement servi à la confirmation de transactions commerciales entre des terminaux installés directement dans les entreprises (et non à la Poste comme les télégraphes).

Telnet

Application permettant d'ouvrir une session de travail sur un système distant.

TCP (*Transmission Control Protocol*)

Protocole de transport fiable et contrôlé sur un réseau de type datagramme ; utilisé par l'Internet.

Trame

Unité d'échange de données au niveau liaison.

UDP (*User Datagram Protocol*)

Protocole de transport non-fiable sur un réseau de type datagramme ; utilisé par l'Internet.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*)

Appellation européenne pour les normes définissant les systèmes de téléphonie mobile de 3^{ème} génération.

URL (*Uniform Resource Location*)

Schéma de désignation des objets répartis sur le WWW.

VoIP (*Voice over Internet Protocol*)

Acheminement de la voix sur des réseaux à commutation de paquets utilisant le protocole internet IP.

VPN (*Virtual Private Network*)

Voir RPV en français. Cependant, le mot VPN a acquis une connotation particulière : d'une part la notion de sous-réseau virtuel s'est banalisée avec le nomadisme d'utilisateurs d'ordinateurs se connectant à distance ou par voie radio au réseau de leur entreprise (ou de

leur domicile), d'autre part, il faut assurer la sécurité et le cloisonnage des sous-réseaux. C'est pourquoi VPN est maintenant associé au contrôle d'accès pour ce type de sous-réseaux.

WAN (*Wide Area Network*)

Réseau à grande échelle, couvrant une large aire géographique (pays ou monde). Par opposition à LAN (un bâtiment, ou un établissement) et MAN (une ville).

Whois

Application permettant d'accéder à un répertoire d'informations sur les domaines connectés à l'internet (numéros de réseau, administrateurs).

WWW (*World Wide Web*)

Système de documents hypermédia répartis fondé sur HTML, HTTP, et URL ; souvent confondu avec l'Internet.

X (*X server*)

Serveur gérant l'affichage des fenêtres sur un ordinateur (Unix ou Linux) à partir de commandes d'affichages graphiques demandées par des processus locaux (s'exécutant sur la même machine) ou distants (s'exécutant sur d'autres machines du réseau).