

Modélisations réseau

Philippe Latu

philippe.latu(at)linux-france.org

<http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/>

Historique des versions		
\$Revision: 1584 \$	\$Date: 2011-01-20 23:28:02 +0100 (jeu. 20 janv. 2011) \$	\$Author: latu \$
Édition année universitaire 2010-2011		
Résumé		
La modélisation du fonctionnement des réseaux électroniques de communications a toujours été l'objet de grandes luttes d'influence entre les organismes de normalisation, les compagnies de télécommunication et les constructeurs. Avec l'avènement de l'Internet, un modèle contemporain faisant la synthèse entre les modèles de référence historiques OSI et TCP/IP s'est imposé. L'objectif de cet article est d'introduire les concepts de modélisation, de présenter les deux modélisations dominantes et le «dénominateur commun» qui en est issu.		

Table des matières

1. Copyright et Licence	2
1.1. Meta-information	2
2. La modélisation des réseaux de télécommunications	3
2.1. Classification	3
2.2. Modélisations en couches	3
2.3. Concepts communs aux modélisations	3
2.4. Commutation de circuit ou commutation de paquet	4
2.5. Services avec et sans connexion	5
2.6. L'encapsulation	6
2.7. Modèles de référence	7
3. La modélisation OSI	7
3.1. Point fort : la transmission de l'information	7
3.2. Point faible : le traitement de l'information	8
3.3. Définitions	8
3.4. La couche physique (bit)	9
3.5. La couche liaison de données (trame)	9
3.6. La couche réseau (paquet)	9
3.7. La couche transport (segment)	9
3.8. La couche session	10
3.9. La couche présentation	10
3.10. La couche application	10
4. La modélisation TCP/IP	10
4.1. Point fort : les protocoles	11
4.2. Point faible : le modèle	11
4.3. La couche Internet : IP	11
4.4. Adressage IP	12
5. Le modèle Contemporain	14
6. En guise de conclusion	15
6.1. Documents de référence	15
6.2. Glossaire des acronymes	15

1. Copyright et Licence

Copyright (c) 2000,2011 Philippe Latu.
 Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Copyright (c) 2000,2011 Philippe Latu.
 Permission est accordée de copier, distribuer et/ou modifier ce document selon les termes de la Licence de Documentation Libre GNU (GNU Free Documentation License), version 1.2 ou toute version ultérieure publiée par la Free Software Foundation ; sans Sections Invariables ; sans Texte de Première de Couverture, et sans Texte de Quatrième de Couverture. Une copie de la présente Licence est incluse dans la section intitulée « Licence de Documentation Libre GNU ».

1.1. Meta-information

Cet article est écrit avec *DocBook*¹ XML sur un système *Debian GNU/Linux*². Il est disponible en version imprimable aux formats PDF et Postscript : [modelisations.pdf](#)³ | [modelisations.ps.gz](#)⁴.

Le ton de cet article est volontairement «polémique». L'objectif pédagogique est de susciter la réaction et, pourquoi pas, la réflexion sur un sujet souvent jugé trop académique. Une bonne compréhension de la genèse des différents modèles d'interconnexion des réseaux de télécommunications permet de construire une analyse critique des évolutions actuelles.

¹ <http://www.docbook.org>

² <http://www.debian.org>

³ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/telechargement/modelisations.pdf>

⁴ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/telechargement/modelisations.ps.gz>

2. La modélisation des réseaux de télécommunications

Si l'utilisation des connexions aux réseaux de télécommunications a explosé avec le développement de l'Internet, la conception des techniques de connexion a débuté dans les années 1960.

À cette époque, comme le nombre de fournisseurs d'équipements informatiques était réduit, chacun a développé «sa» solution de connexion. Les difficultés sont très vite apparues lorsque les utilisateurs ont eu besoin *d'interconnecter* des systèmes hétérogènes distants.

Aujourd'hui, la très grande majorité des interconnexions utilise des équipements et des réseaux acquis auprès de fournisseurs différents. Pour parvenir à ce résultat, il a fallu harmoniser les modes d'interconnexion. Les modélisations sont les outils essentiels de cette harmonisation.

Pendant la guerre froide, l'ARPANET, l'ancêtre militaire de l'Internet, a été développé à partir de 1969 pour maintenir les communications entre les centres névralgiques du continent nord américain face aux menaces d'attaques nucléaires. Même si ces conditions d'utilisation sont très éloignées du contexte actuel, l'interconnexion de systèmes hétérogènes était une nécessité impérieuse pour le département d'état des États-Unis.

Les protocoles TCP et IP qui dominent largement les réseaux de télécommunications contemporains ont été conçus pour répondre à ces objectifs d'harmonisation des échanges d'informations entre systèmes différents. Sans une modélisation cohérente des communications, il serait impossible de parler de *quadruple-play* : données, voix, vidéo et mobilité sur des réseaux aussi hétérogènes que les radiocommunications, les réseaux filaires en cuivre ou en fibre optiques.

2.1. Classification

Historiquement, c'est la distance entre les équipements à connecter qui a constitué le premier critère de classement des réseaux de télécommunication.

Ce critère est fondé sur le mode de transport de l'information. Même si c'est de moins en moins vrai, on part du principe que l'on n'emploie pas les mêmes techniques pour véhiculer des données d'une pièce à l'autre ou d'un continent à l'autre.

Tableau 1. classification des réseaux

Distance	Acronyme	Type de réseau
jusqu'à 25 mètres	PAN	Réseau local «domestique» : <i>Personal Area Network</i>
jusqu'à 10 Km	LAN	Réseau local : <i>Local Area Network</i>
jusqu'à 50 Km	MAN	Réseau métropolitain : <i>Metropolitan Area Network</i>
jusqu'à 1000 Km	WAN	Réseau longue distance : <i>Wide Area Network</i>
jusqu'à 40000 Km	Internet	Réseau mondial

2.2. Modélisations en couches

La technique usuelle en informatique pour résoudre un problème complexe consiste à le découper en problèmes simples à traiter. L'interconnexion réseau étant un problème complexe, on a donc abouti à des traitements séparés par niveaux ou *couches*. La fonction de chaque couche est de fournir des services à son homologue de niveau supérieur en occultant ses traitements propres.

Entre deux équipements, chaque couche dialogue à son niveau à l'aide d'un *protocole*. Pour l'ensemble des couches utilisées lors d'une communication réseau, on parle de *pile de protocoles*.

2.3. Concepts communs aux modélisations

Il existe un certain nombre de concepts communs liés aux modélisations en couches. Ces concepts sont implémentés dans les protocoles. Les protocoles peuvent être vus comme une sélection des traitements possibles au niveau de chaque couche. Voici une présentation succincte de ces concepts :

adressage

Pour que chaque couche puisse reconnaître ses pairs sur les autres systèmes connectés au réseau, il est nécessaire de recourir à un *adressage*. Le rôle d'une adresse est d'identifier sans ambiguïté un hôte du réseau. Les mécanismes d'adressages jouent un rôle essentiel dans l'acheminement de l'information.

Il existe de très nombreux exemples d'utilisation de mécanismes d'adressage uniques ou multiples dans les réseaux :

- L'analogie la plus usuelle est fournie par le courrier papier qui est routé par le service postal en fonction de l'adresse du domicile suivant un protocole qui utilise le code postal, le type de voie, etc.
- Le courrier électronique est acheminé à partir d'une adresse composée du nom d'utilisateur (partie gauche) et d'un nom de domaine (partie droite).
- Un téléphone mobile met en œuvre plusieurs mécanismes d'adresses simultanément. Il est repéré dans une cellule par son *International Mobile Equipment Identity* ou code IMEI et les communications utilisent le numéro de l'abonné. C'est aussi sur le format du numéro de téléphone que des décisions d'acheminement sont prises (opérateur, zone géographique, etc.).
- Pour un hôte connecté à l'Internet, son adresse affectée par le protocole IP identifie cet hôte de façon unique. Les adresses IP ne sont généralement pas les seules utilisées dans un même système. On retrouve souvent une adresse utilisée pour repérer un hôte dans un réseau local ou dans la zone de couverture radio du réseau sans fil.

routage

Les protocoles de chaque couche prennent leurs décisions d'acheminement de l'information à partir des adresses et des itinéraires disponibles. La technique d'acheminement d'une information à travers de multiples circuits de communications est appelée *routage*.

contrôle d'erreur

Les circuits de communications n'étant pas parfaits, il est nécessaire de mettre en œuvre des mécanismes de *contrôle d'erreur*. Suivant le niveau de traitement de chaque couche, ces contrôles d'erreur sont pris en charge par les protocoles de chaque niveau. Au niveau le plus bas, on contrôle que le nombre de bits reçus correspond bien au nombre de bits émis sur un média (paire cuivre, fibre optique, canal hertzien). À un niveau plus élevé, on contrôle le *séquencement* de l'acheminement de blocs d'informations. Si une suite de blocs est émise dans un ordre donné, ces mêmes peuvent parvenir dans le désordre à l'autre extrémité d'un réseau étendu.

contrôle de flux

Tous les systèmes n'ayant pas les mêmes capacités de traitement, il faut éviter que les hôtes les mieux dotés mobilisent à leur seul usage les circuits de communications. De la même façon, il faut éviter qu'un émetteur ne sature l'interface d'un récepteur plus lent. Les solutions à ces problèmes peuvent être complexes. Généralement, les protocoles implémentent des mécanismes de notification qui permettent contrôler qu'un récepteur a bien traité l'information qui lui est destinée. On parle alors de *contrôle de flux*.

(dé)multiplexage

Les routes empruntées par les circuits de communications dépendent de la topographie. L'interconnexion des réseaux entre les continents passe par un nombre limité de circuits appelés dorsales (*backbones*). La transmission de l'information sur les dorsales utilise les fonctions de *multiplexage* (temporel ou fréquentiel) à l'émission et de *démultiplexage* à la réception. Ces fonctions permettent de véhiculer plusieurs flux distincts sur un même circuit.

2.4. Commutation de circuit ou commutation de paquet

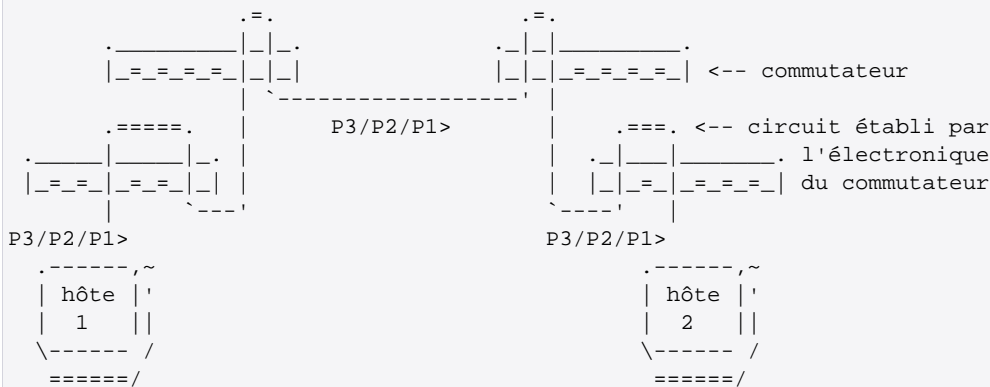
Dans les réseaux de télécommunications contemporains on retrouve deux techniques de commutation distinctes. Ces techniques peuvent se croiser dans la description des couches des modélisations et dans les technologies d'implémentation des protocoles. Ainsi, dans un réseau local, on peut très bien utiliser une commutation de circuit avec la technologie Ethernet au niveau liaison et utiliser un réseau à commutation de paquets avec le protocole IP.

Commutation de circuit

Cette technique consiste à commuter des circuits physiques ou virtuels pour que deux hôtes du réseau puissent communiquer comme s'ils étaient connecté directement l'un à l'autre. Voici deux exemples classiques de ce type de commutation.

- Sur un réseau téléphonique filaire lors de l'émission d'un nouvel appel en composant un numéro d'abonné, les commutateurs téléphoniques établissent un circuit unique entre les deux combinés. Une fois la communication établie, les échantillons de voix transitent séquentiellement sur ce circuit.

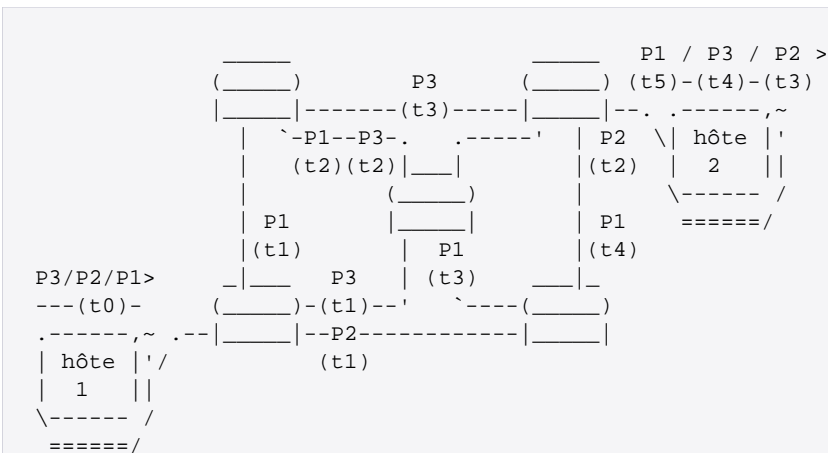
- Sur un réseau local utilisant des commutateurs Ethernet, une fois les tables de correspondance entre les adresses physiques des hôtes constituées, les hôtes peuvent communiquer entre eux via un circuit unique établi par l'électronique des commutateurs.



Commutation de paquet

Avec cette technique, les informations découpées en paquets de taille limitée peuvent emprunter des itinéraires différents en fonction de l'état de l'interconnexion réseau entre deux points.

Le protocole IP, utilisé au niveau réseau de la modélisation Internet, est l'exemple le plus connu d'exploitation de la commutation de paquets.



Les caractéristiques de ces deux types de commutation sont adaptées à différents besoins. Avec la commutation de circuit, la constitution d'un circuit unique de bout en bout permet de conserver la séquence des informations émises et la réservation de bande passante évite la congestion. Avec la commutation de paquets, la tolérance aux pannes et l'optimisation de l'utilisation des canaux de communication sont bien meilleures. Cependant, l'absence de réservation de bande passante peut entraîner des problèmes de congestion.

On peut aussi prendre le temps de transmission comme point de comparaison. Sur un réseau à commutation de circuits, le temps de transit de l'information est connu. Il dépend uniquement des caractéristiques du circuit. Sur un réseau à commutation de paquets, chaque paquet peut emprunter un itinéraire propre et tous ces itinéraires ne possèdent pas les mêmes caractéristiques. De plus, chaque élément d'interconnexion doit stocker les paquets avant de prendre une décision d'acheminement ; ce qui introduit un temps de latence supplémentaire.

Les débits réseau et la capacité de traitement des équipements d'interconnexion se sont considérablement développés durant les dernières années. De ce fait, les temps de transmission de l'information deviennent négligeables devant d'autres paramètres comme le temps d'accès aux médias de stockage. C'est un des facteurs qui facilite le déploiement de presque tous les nouveaux services sur Internet.

2.5. Services avec et sans connexion

Les services fournis par les couches paires entre deux hôtes d'un réseau peuvent fonctionner selon deux modes principaux : avec et sans connexion.

Service orienté connexion

Les communications téléphoniques sont un exemple caractéristique de service orienté connexion. Ce n'est qu'après avoir composé le numéro du correspondant et que celui-ci ait décroché que la conversation peut commencer. De la même façon, il faut que les deux correspondants aient raccroché pour qu'une nouvelle communication puisse être initiée.

Pour généraliser, on parle de trois phases : *établissement*, *maintien* et *libération* de la connexion.

Pendant la phase de *maintien*, les services des couches paires utilisent un circuit de communication unique physique ou virtuel de bout en bout.

Certains services utilisent la phase d'*établissement* pour *négoier* des options d'utilisation du circuit utilisé en phase de *maintien*. C'est notamment le cas de la couche transport du modèle TCP/IP avec le protocole TCP.

Les opérateurs téléphoniques utilisent beaucoup les services en mode connecté pour préserver la tarification basée sur les temps de communication. En effet, dès que l'information ne circule plus sur un circuit unique, il est beaucoup moins facile de comptabiliser le temps d'une connexion.

Service non orienté connexion

Les réseaux locaux privés sont généralement les exemples caractéristiques de services sans connexion. Sur ces réseaux, seuls les volumes d'informations comptent. Si on ne s'intéresse qu'à la quantité d'informations transitant en un point donné, peu importe le chemin emprunté par ces informations.

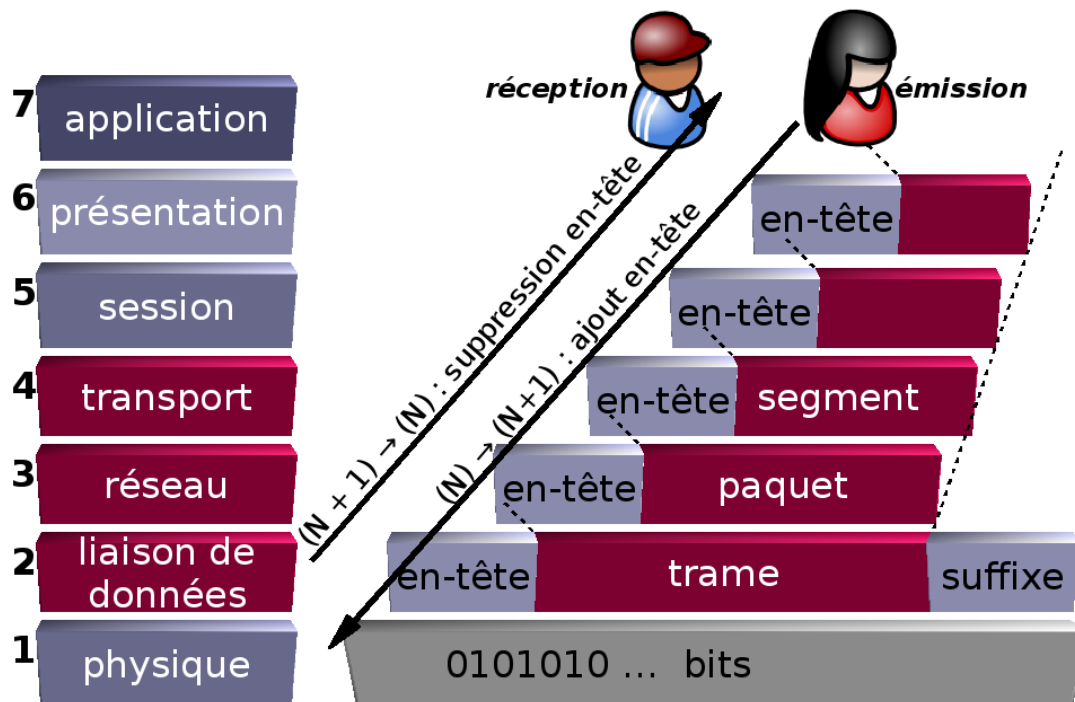
Par opposition à l'analogie avec les communications téléphoniques, on peut utiliser l'exemple du courrier postal. Deux lettres à destination d'une même adresse sont routées indépendamment et peuvent très bien ne pas parvenir dans l'ordre dans lequel elles ont été émises.

Le service de couche réseau de l'Internet avec son protocole IP fonctionne en mode non connecté. Tous les paquets IP sont routés indépendamment et peuvent suivre des chemins différents s'il existe plusieurs itinéraires disponibles.

2.6. L'encapsulation

On peut prendre l'exemple des étapes de l'acheminement du courrier postal pour illustrer le concept d'encapsulation. Une lettre est d'abord insérée dans une enveloppe pour être postée. Cette enveloppe est ensuite placée dans un sac postal. Le sac postal est lui-même transporté dans un conteneur. Ces étapes illustrent l'encapsulation de l'information lors de son émission. Pour la réception, on reprend les mêmes étapes dans l'ordre inverse. Le sac postal est extrait du conteneur. L'enveloppe est extraite du sac postal et déposée dans la boîte aux lettres du destinataire. On peut parler de désencapsulation pour décrire les étapes de réception.

Si on aborde le concept de façon plus formelle, on reprend les mêmes étapes entre les couches de la modélisation. Au passage d'une couche N vers la couche inférieure $(N-1)$, le flot de données est enrichi de champs supplémentaires placés en début et/ou en fin. Dans le premier cas, il s'agit d'un en-tête ou préfixe (*header*) ; dans le second, d'un suffixe (*trailer*). Ces informations apportées renseignent l'unité de donnée au niveau de la couche qui les a émises (ici N). Ces champs servent donc, lors de la réception par la couche de même niveau (N) de la station destinataire, au traitement que celle-ci doit effectuer. On peut y trouver les adresses source et destination (de niveau N), un contrôle de parité, la longueur concernant le paquet, des bits de priorité, l'identification du protocole de niveau supérieur $(N+1)$ pour le décodage, des numéros d'acquittement, etc.

Encapsulation - image seule⁵

2.7. Modèles de référence

L'histoire des modélisations réseau a plus de quarante ans. Pour une technologie aussi évolutive que l'interconnexion des réseaux de télécommunications, quarante ans représentent une durée très longue au cours de laquelle plusieurs révolutions se sont produites.

À l'époque de la suprématie d'IBM, les plus hautes autorités politiques ont craint que cette société n'exerce une main mise irréversible sur les réseaux en imposant son modèle en 7 couches **SNA**. C'est en partie pour «répondre» à cette crainte que l'**ISO** a lancé les travaux sur la modélisation **OSI** : un autre modèle à 7 couches.

Parallèlement, le département de la Défense des États-Unis a lancé le projet **ARPANET** : l'ancêtre de l'Internet. Ce réseau qui a relié plus d'une centaine d'universités, a généré sa propre modélisation baptisée du nom de ses deux protocoles phares : TCP et IP. Les profits générés par ce réseau de recherche ont été suffisants pour que les constructeurs investissent dans la conception d'équipements utilisant ses protocoles. Comme ARPANET est devenu Internet et que les profits réalisés sur cette base ont explosé, TCP/IP se retrouve en tête des modèles de références.

Il faut aussi compter avec l'**ITU**. Cet organisme regroupe les agences réglementaires qui coordonnent la gestion des télécommunications. Parmi ces organismes, on trouve la *Federal Communications Commission* (FCC) aux USA, l'**ARCEP** en France. Depuis 1975, le développement des réseaux téléphoniques à commutation de paquets à partir des normalisations X.25 a contribué à figer la structure des couches basses de l'ensemble des modélisations.

3. La modélisation OSI

Il s'agit d'un modèle en 7 couches dont le principe fondamental est de définir ce que chaque couche doit faire mais pas comment elle doit le faire.

Les protocoles et les normalisations **IEEE** sont là pour définir comment les services sont fournis entre les couches.

3.1. Point fort : la transmission de l'information

Il a fallu quelques années entre la proposition initiale de l'ISO (1978) et la publication du standard IS7498:84 (1984). C'est ce standard, largement adopté par les constructeurs les plus importants et d'autres organismes de normalisation

⁵ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/modelisation/images/encapsulation.png>

comme l'ITU, qui a contribué à la popularité de ce «modèle d'interconnexion des systèmes ouverts». Un temps d'élaboration aussi long donne la mesure de la tâche accomplie pour fédérer les standards existants et obtenir un consensus entre des partenaires aux conceptions très éloignées sur l'organisation des réseaux.

Les spécifications des services des couches dédiées à la transmission de l'information, aussi appelées couches basses, sont si «chargées» qu'il a fallu les subdiviser en sous-couches respectant les modes de fonctionnement avec et sans connexion. Le consensus obtenu si difficilement est encore en vigueur aujourd'hui ; tous les constructeurs d'équipements le respectent.

3.2. Point faible : le traitement de l'information

Alors que pour les couches liées à la transmission de l'information les standards existants on pesé très lourd dans l'élaboration du modèle, la voie était quasiment libre pour les couches dédiées au traitement de l'information dans les années 80.

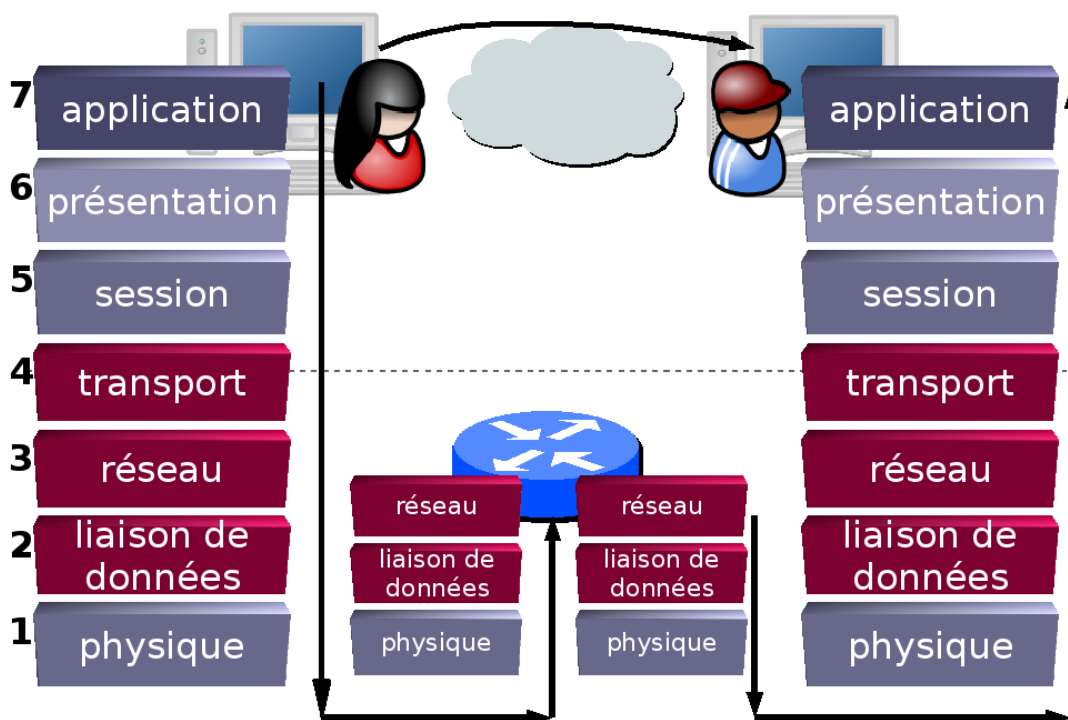
La tâche était à priori plus facile sachant qu'il n'y avait pas «d'ordre établi» sur les applications de traitement. Ce sont pourtant ces couches hautes qui ont provoqué le déclin de la modélisation OSI.

Les spécifications qui ont été produites pour les couches transport, session et application étaient si complexes que seules de rares applications mastodontes ont pu être développées. Ces services réseau, tels que les annuaires de services X500 normalisés par l'ISO et l'ITU n'ont pu être popularisés qu'après avoir été simplifiés et allégés. Aujourd'hui, on ne parle plus que des annuaires LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*⁶).

Cette expérience a montré que l'on ne peut pas produire des spécifications trop «distantes» de l'état de la technologie et des infrastructures existantes. L'ISO a *renoncé à promouvoir le modèle OSI en Décembre 1994* après avoir publié le standard ISO/IEC 7498-1:1994. A cette époque, l'Internet universitaire était déjà une réalité et les investissements industriels sur TCP/IP étaient bien engagés.

Le plus curieux, c'est que tous les organismes ne semblent pas avoir retenu la leçon. Le Forum ATM (*Asynchronous Transfer Mode* : technologie réseau répandue dans les grandes dorsales des opérateurs d'interconnexion) a produit deux spécifications contradictoires à un an d'intervalle vers le milieu des années 1990. La technologie ATM est aujourd'hui obsolète et remplacée par des dorsales Ethernet.

3.3. Définitions



⁶ <http://www.openldap.org>

Les 7 couches du modèle OSI - image seule⁷

Usuellement, on distingue les *Couches Hautes* (de Transport jusqu'à Application) qui ont une fonction de traitement des données indépendante de la technique de connexion entre 2 systèmes des couches basses (de Physique jusqu'à Réseau) qui ont une fonction de transmission de l'information liée à la technologie de communication.

3.4. La couche physique (bit)

Elle s'occupe de la transmission «brute» des flots de bits sur un circuit de communication sans connaître ni la structure, ni la signification de ces bits. À ce niveau, on s'intéresse à l'amplitude du signal, à la durée d'un bit, à la possibilité de transmettre simultanément dans les deux sens, à l'établissement et la libération du canal de connexion.

3.5. La couche liaison de données (trame)

Elle transforme les flots de bits en lignes de données sans erreur. Pour cela, elle fractionne les données d'entrée de l'émetteur en trames de données. C'est donc à elle de reconnaître les frontières des trames. Cette fonction entraîne la résolution des problèmes de trames endommagées, perdues ou dupliquées. On retrouve ici la fonction de **contrôle d'erreur**.

C'est aussi à ce niveau que l'on peut trouver des mécanismes de régulation pour éviter la saturation du canal de communication par un émetteur unique. C'est la fonction de **contrôle de flux**. Une technique très simple, employée dans les réseaux Ethernet, interdit les émissions continues à tous les hôtes du réseau. Une émission ne peut avoir lieu que si tous les hôtes ont eu le temps matériel de détecter que le média partagé est libre.

Si le service le requiert, le récepteur confirme la réception de chaque trame en émettant une trame d'acquittement.

Les réseaux à diffusion utilisent un service ou une sous-couche spécifique pour contrôler que l'accès au média est libre. Dans le cas des réseaux sans-fil de types IEEE 802.11 ou *Wifi*, des trames de gestion indépendantes des informations utilisateur sont échangées entre les équipements pour contrôler l'accès aux canaux hertziens.

3.6. La couche réseau (paquet)

Elle gère le sous-réseau (les couches basses), c'est-à-dire la façon dont les paquets sont acheminés de l'émetteur au récepteur. Elle contrôle la route empruntée par les paquets.

Les stratégies utilisées pour le routage sont très variables. On peut trouver des tables statiques dans les réseaux qui évoluent rarement. Cependant, on utilise généralement des protocoles de routage plus ou moins sophistiqués, dédiés à l'échange d'informations entre les équipements d'interconnexion fournissant un service de niveau réseau.

En plus des itinéraires disponibles, les choix de route se font en fonction du nombre d'équipements d'interconnexion à traverser, du débit disponible, de la charge d'un lien ou encore du temps de transit entre deux extrémités.

Cette couche doit aussi résoudre les problèmes d'interconnexion entre réseaux hétérogènes. Si un paquet doit transiter entre deux réseaux utilisant des technologies différentes, la couche réseau doit gérer :

- le changement de formats d'adresses,
- le redimensionnement des paquets,
- la mise en conformité entre protocoles différents,
- la comptabilisation du coût d'acheminement de l'information.

C'est encore à la couche réseau de contrôler la congestion d'un réseau en notifiant les hôtes voisins à l'aide d'informations spécifiques.

3.7. La couche transport (segment)

Sa fonction de base est de traiter les données de la couche session et de les découper au besoin en petites unités. Ces petites unités sont ensuite transmises à la couche réseau tout en s'assurant qu'elles sont parvenues à destination.

- Elle peut multiplier les connexions réseau si la connexion de transport requiert un débit rapide.

⁷ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/modelisation/images/osi-model.png>

- Elle peut multiplexer les connexions de transport si le maintien d'une connexion réseau est coûteux.

Une connexion de transport est un canal point à point délivrant des messages sans erreur dans l'ordre d'émission. Avec la couche transport on aborde les couches de «bout en bout» (couches hautes), c'est-à-dire que le même programme s'exécute sur l'émetteur et le destinataire en utilisant les messages d'en-tête et de contrôle. Cette couche doit gérer l'initialisation et la fin des connexions sur le réseau ; ce qui nécessite un mécanisme d'adressage permettant d'identifier le ou les destinataires. La couche transport est parfois considérée comme faisant partie des couches basses parce qu'elle doit préserver la couche session des changements de technologies entre réseaux.

3.8. La couche session

Elle permet à des utilisateurs, opérant sur différentes machines, d'établir des sessions entre eux. Une session a pour but le transport des données. Par rapport à la couche transport, elle offre des services supplémentaires tels que :

- La gestion du dialogue ou du jeton : certains protocoles utilisent des jetons (autorisation d'émission) que les machines d'un réseau peuvent s'échanger.
- La synchronisation : cette technique consiste à insérer des éléments tests dans le flot de données de manière à ne pas devoir reprendre la totalité d'une opération en cas d'échec.

C'est à travers la couche session qu'un utilisateur peut accéder à un système à temps partagé distant ou transférer des fichiers.

3.9. La couche présentation

Elle traite la syntaxe de l'information transmise. Elle assure l'encodage et/ou la compression des données dans une norme agréée.

Elle assure des conversions telles que celles des protocoles d'utilisation de terminaux incompatibles entre eux, celles entre les différents systèmes de fichiers ou encore celles des formats du courrier électronique.

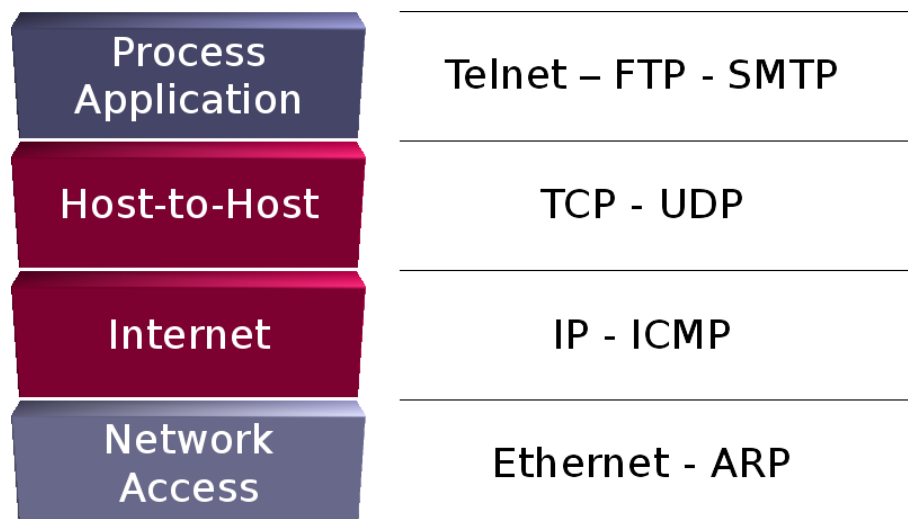
3.10. La couche application

Cette couche assure l'interface entre l'utilisateur et les services du réseau. On y trouve toutes les applications cliente ou serveur connues : transfert de fichiers, courrier électronique, Web, multimédia, etc.

4. La modélisation TCP/IP

Le nom de ce modèle de référence provient de ses deux principaux protocoles. Ce modèle est apparu en 1974 avec la construction de l'ancêtre militaire de l'Internet, l'**ARPANET**. Les objectifs principaux de cette modélisation sont :

- relier des réseaux hétérogènes de façon transparente (lignes téléphoniques, réseaux locaux, etc),
- garantir les connexions quel que soit l'état des lignes de transmission (commutation de paquets),
- assurer le fonctionnement d'applications très différentes (transfert de fichier, multimédia, etc).



Modélisation Internet - image seule⁸*Network Access*

La couche d'accès réseau a pour rôle de transmettre les données sur le média physique utilisé. En fonction du type de réseau, des protocoles différents peuvent être utilisés à ce niveau.

Internet

La couche inter-réseaux a pour rôle de transmettre les données à travers une série de réseaux physiques différents qui relient un hôte source avec un hôte destination. Les protocoles de routage sont étroitement associés à ce niveau. IP est le protocole routé de base sur l'Internet.

Host-to-Host

La couche hôte-à-hôte prend en charge la gestion de connexion, le contrôle de flux, la retransmission des données perdues et d'autres modes de gestion des flux. Les protocoles TCP et UDP sont dédiés à ces fonctions de transport.

Process/Application

La couche application sert à l'exécution des protocoles de niveau utilisateur tels que les échanges de courrier électronique (SMTP), le transfert de fichiers (FTP) ou les connexions distantes (telnet).

4.1. Point fort : les protocoles

Le fait que ce modèle porte le nom de ces protocoles est lourd de signification. Si la démarche de recherche de consensus dans le développement du modèle s'apparente à la démarche suivie pour le modèle OSI, les spécifications ont été directement accessibles pour un public beaucoup plus large.

C'est ce principe de publication de RFC (*Request for comments*⁹) qui a favorisé le développement des protocoles au profit du modèle. Tous les protocoles de l'Internet ont été «standardisés» à l'aide de ces documents. Lorsque quelqu'un met au point un protocole, il le soumet à la communauté à l'aide d'un document RFC. Ce travail est ensuite repris et amélioré par d'autres qui publient un nouveau RFC et ainsi de suite. C'est la démarche d'origine de développement des logiciels libres.

Ce travail à base de propositions ouvertes s'est montré très efficace puisqu'il a supplanté le modèle issu de l'ISO, l'organisme officiel de normalisation. Dès les premiers documents RFC, les *pires de protocoles* ont été illustrées.

4.2. Point faible : le modèle

La notion de modélisation n'est pas apparue comme une priorité relativement au développement des protocoles. Pour répondre aux objectifs du modèle Internet, ses développeurs ne se sont que très peu intéressés aux modes de transmission de l'information. Ils devaient utiliser l'existant de façon transparente. Le modèle Internet est donc très incomplet sur les aspects transmission.

C'est donc sur les couches basses qui traitent de la transmission de l'information que le modèle OSI conserve l'avantage. Le protocole IP est une implémentation particulière des fonctions de la couche réseau décrites dans le modèle OSI. De la même façon, les protocoles TCP et UDP sont des implémentations particulières des fonctions de la couche transport.

4.3. La couche Internet : IP

Pour répondre aux objectifs énoncés ci-dessus, le principe d'un réseau à commutation de paquets en mode non connecté a été retenu. Ce type de réseau correspond à un mode particulier d'utilisation de la couche réseau (3) du modèle OSI.

Dans cette organisation, le rôle de la couche Internet est de transmettre des paquets sur n'importe quel type de liaison indépendamment les uns des autres. Les paquets émis dans un certain ordre peuvent ainsi être reçus dans un autre ordre en différents fragments.

Le fonctionnement de la couche réseau du modèle TCP/IP est décrit dans le document standard *RFC791 Internet Protocol*¹⁰ et plus sommairement dans l'article *Transmission & protocoles Internet*.

⁸ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/modelisation/images/dod-model.png>

⁹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Request_for_comments

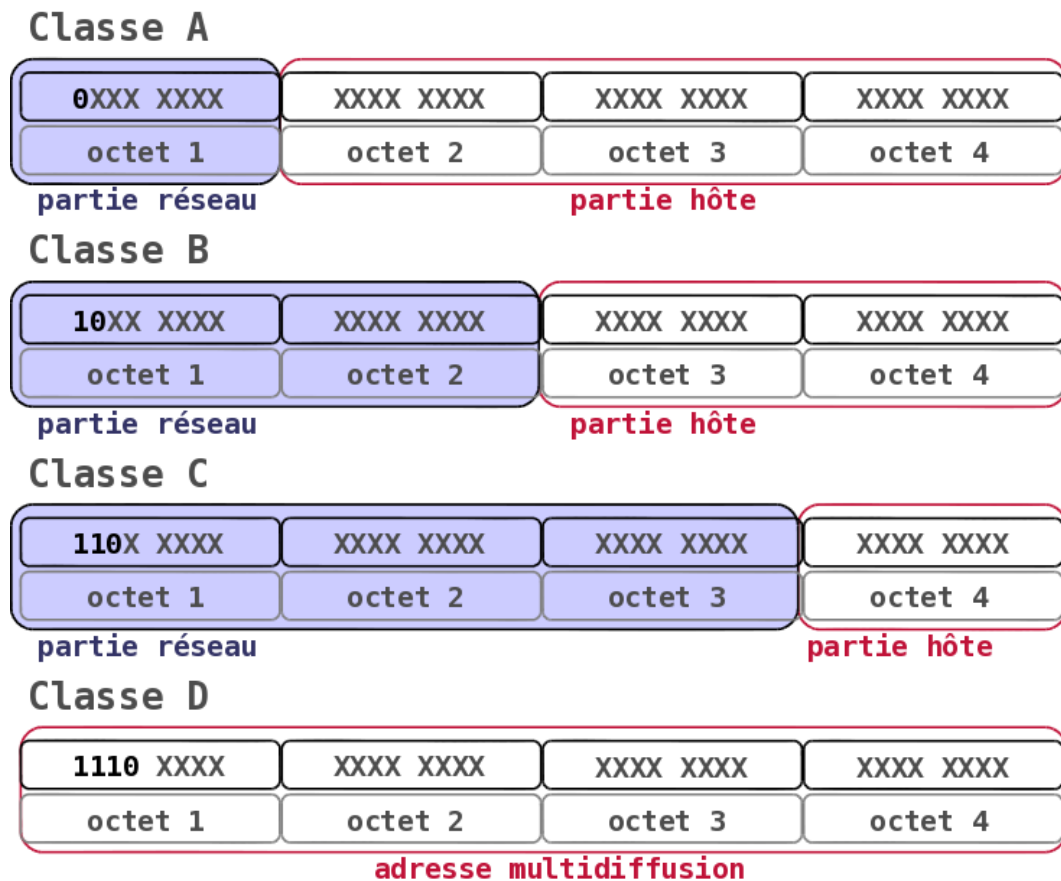
¹⁰ <http://www.faqs.org/rfcs/rfc791.html>

4.4. Adressage IP

L'adresse IP sert à repérer un hôte unique sur l'Internet. La particularité du format d'adresse adopté avec le protocole IP est qu'il associe une partie réseau et une partie hôte en une adresse unique.

Une adresse IP est représentée sur 32 bits. On écrit toujours ces adresses sous la forme de 4 octets notés en décimal séparés par des points. Par exemple : 192.168.10.66.

À l'origine, on a défini plusieurs *Classes* d'adresses IP : les classes A, B, C et D.



Classes d'adresses IPv4 - image seule¹¹

Classe A

Le premier octet a une valeur strictement inférieure à 128. Ce premier octet désigne le numéro de réseau et les 3 autres correspondent à l'adresse de l'hôte.

Classe B

Le premier octet a une valeur comprise entre 128 et 192. Les 2 premiers octets désignent le numéro de réseau et les 2 autres correspondent à l'adresse de l'hôte.

Classe C

Le premier octet a une valeur comprise entre 192 et 223. Les 3 premiers octets désignent le numéro de réseau et le dernier correspond à l'adresse de l'hôte.

Classe D

Le premier octet a une valeur comprise entre 224 et 239. Il s'agit d'une zone d'adresses dédiées aux services de multidiffusion.

Classe E

Le premier octet a une valeur supérieure à 240. Il s'agit d'une zone d'adresses réservées aux expérimentations.

¹¹ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/modelisation/images/classes.adresses.ipv4.png>

Aujourd'hui, ces classes ont peu à peu perdu leur signification puisque l'espace d'adressage IP a été redécoupé pour être distribué plus équitablement grâce aux fonctions *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR) introduites en 1994. Les mécanismes de l'adressage IP sont traités en détails dans l'article [Adressage IPv4](#).

5. Le modèle Contemporain

Cette dénomination n'a vraiment rien d'officiel. Elle signifie simplement qu'actuellement la conception et l'exploitation des réseaux se fait à partir de la synthèse entre **le modèle OSI** et **le modèle Internet**.

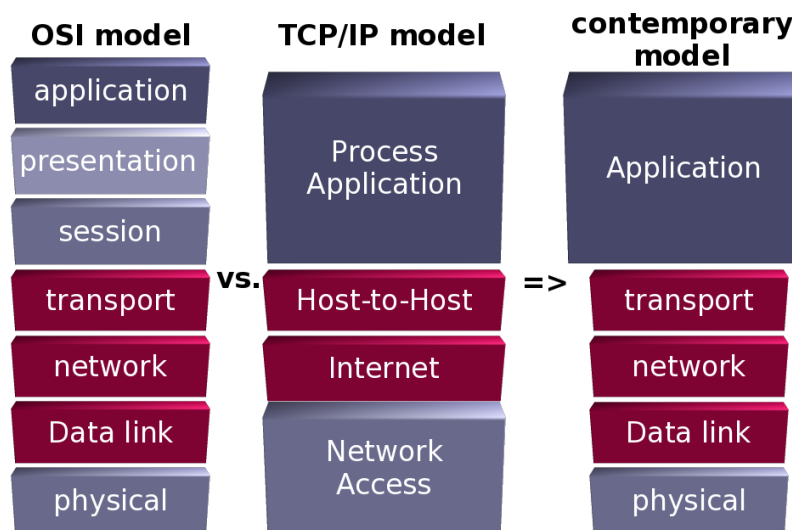
Chaque modèle a compensé les faiblesses de l'autre.

- **Le modèle OSI a structuré les relations entre les couches basses.**

Sans ce travail de normalisation, l'évolution des réseaux de télécommunications était compromise. L'interconnexion entre systèmes propriétaires hétérogènes aurait toujours posé problème.

- **Le modèle Internet a structuré les protocoles d'applications par services.**

C'est le développement libre des services (noms de domaine, courrier, Web) au dessus des couches basses du réseau en tenant compte des infrastructures existantes qui a permis l'explosion de l'Internet là où les spécifications trop lourdes ont complètement échoué.



Comparaison OSI - TCP/IP - image seule¹²

On peut aussi illustrer la comparaison entre les deux modèles en partant du positionnement des protocoles TCP (**RFC793 Transmission Control Protocol**¹³ : *Transmission Control Protocol*) et IP (**RFC791 Internet Protocol**¹⁴ : *Internet Protocol*) qui datent de 1981.

Couches OSI	Couches TCP/IP	RFC 791	Systeme d'exploitation
7		+-----+ +-----+ +-----+ +-----+	Processus
6	Application	Telnet FTP TFTP 	utilisateur
5		+-----+ +-----+ +-----+ +-----+	'userspace'

4	Transport	+-----+ +-----+ +-----+	Code du noyau
		TCP UDP 	'kernel space'
	+-----+ +-----+ +-----+
		
3	Réseau	+-----+ +-----+ +-----+ +-----+	Adressage
		Internet Protocol & ICMP	Logique
	+-----+ +-----+ +-----+ +-----+
2		
1	Accès	+-----+ +-----+ +-----+ +-----+	Adressage
		Local Network Protocol	Physique
		+-----+ +-----+ +-----+ +-----+

¹² <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/modelisation/images/modele-contemporain.png>

¹³ <http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html>

¹⁴ <http://www.faqs.org/rfcs/rfc791.html>

6. En guise de conclusion

Une fois les concepts des modélisations réseau introduits, une bonne compréhension du fonctionnement de chaque couche suppose que l'on se penche sur les technologies et les protocoles correspondants. En remontant les niveaux du modèle contemporain proposé ci-avant, voici la liste des articles et des supports de cours à consulter suivie d'un glossaire sur les acronymes couramment utilisés.

6.1. Documents de référence

Technologie Ethernet

La technologie Ethernet et les normalisations IEEE 802.3 dominent très largement aux niveaux physique (couche 1) et liaison (couche 2) dans le monde des réseaux locaux. Voir *Technologie Ethernet*¹⁵.

Adressage IPv4

L'adressage IPv4 synthétise les caractéristiques de fonctionnement du protocole de niveau réseau (couche 3) du modèle TCP/IP. Voir *Adressage IPv4*¹⁶.

Transmission & protocoles Internet

Les en-têtes de paquets IP, de segment TCP ou de messages ICMP illustrent précisément le fonctionnement des protocoles aux niveaux réseau (couche 3) et transport (couche 4). Voir *Transmission de l'information & protocoles Internet*¹⁷.

Analyse réseau

Toutes les descriptions académiques «livresques» ne valent pas grand chose sans illustration à partir du trafic réseau réel. L'analyse réseau est l'outil pédagogique fondamental pour s'assurer d'une bonne compréhension des mécanismes de fonctionnement des protocoles réseau. Voir *Introduction à l'analyse réseau avec Wireshark*¹⁸.

6.2. Glossaire des acronymes

ARCEP

ARCEP : *Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes*¹⁹

ARPANET

ARPANET : *Advanced Research Projects Agency NETwork*

Ancêtre militaire de l'Internet développé aux États-Unis à partir des années 60.

IEEE

IEEE : *Institute of Electrical and Electronics Engineers*²⁰

Organisme responsable de la publication des normes sur les technologies réseaux notamment Ethernet.

ISO

*International Standard Organisation*²¹ : *International Organization for Standardization*

Organisme international responsable de la publication de nombreuses normes dont la modélisation OSI.

ITU

ITU : *International Telecommunication Union*²²

Organisme international responsable de la publication des normes sur les télécommunications.

¹⁵ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/ethernet/>

¹⁶ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/adressage.ipv4/>

¹⁷ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/transmission.tcpip/>

¹⁸ <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/cours/intro.analyse/>

¹⁹ <http://www.arcep.fr/>

²⁰ <http://www.ieee.org>

²¹ <http://www.iso.org>

²² <http://www.itu.int>

OSI

OSI : *Open Systems Interconnection*

Le *Modèle de référence de base pour l'interconnexion de systèmes ouverts*²³ est une norme (ISO 7498) composée de 4 parties :

- Le modèle de base
- Architecture de sécurité
- Dénomination et adressage
- Cadre général de gestion

Seule la première partie est abordée dans le présent article.

SNA

SNA : *Systems Network Architecture*

Modélisation propriétaire promue par IBM dans les années 70 et aujourd'hui abandonnée.

²³ <http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/>