
- UTC 505 -

Cyberstructure Internet : bases des réseaux et de la sécurité

Concepts de base et Éléments de Transmission

Plan du cours

- Concepts de base
- Éléments de transmission
- Détection et Correction d'erreurs
- Conclusion



Internet pour faire court

Internet c'est :

- Un outil pour les usages

- Un empilement de technologies qui rend les services demandés

- La clef de voûte d'une révolution sociétale et d'une révolution industrielle plus récemment

Internet c'est surtout une question de **partage** :

- Partage d'information

- Partage de ressources

- Optimisation de la gestion des ressources de communication associées

1.CONCEPTS DE BASE

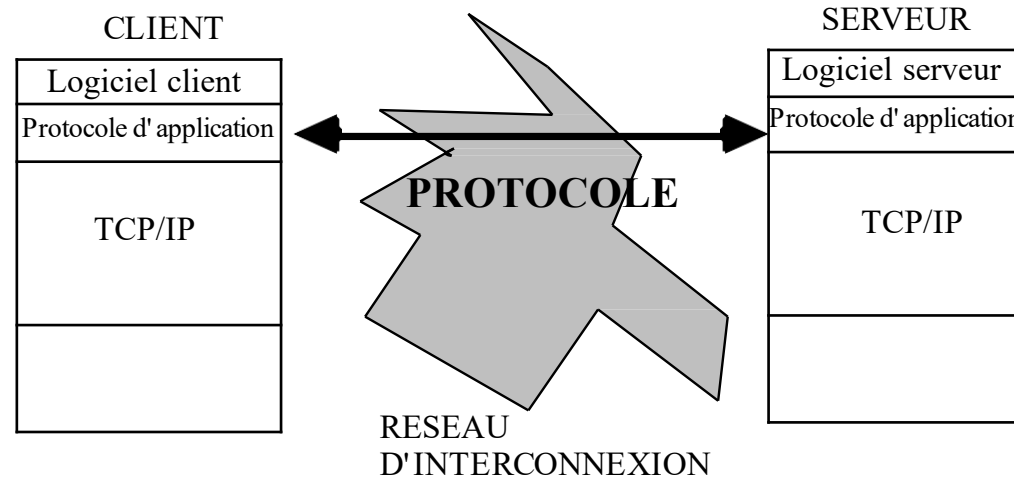
Organisation et
structuration des
communications

Modèle en
couches

Comment acheminer une donnée ?

- Trouver un support physique et s'y interfacer
- Structurer des informations pour qu'elles atteignent la destination
- Envoyer et Recevoir des signaux
- Trouver le chemin pour joindre la destination
- S'interfacer avec les applications
- Gérer l'hétérogénéité dans tous les recoins de l'architecture des supports physiques aux applications en passant par les fournisseurs de services et les équipements...

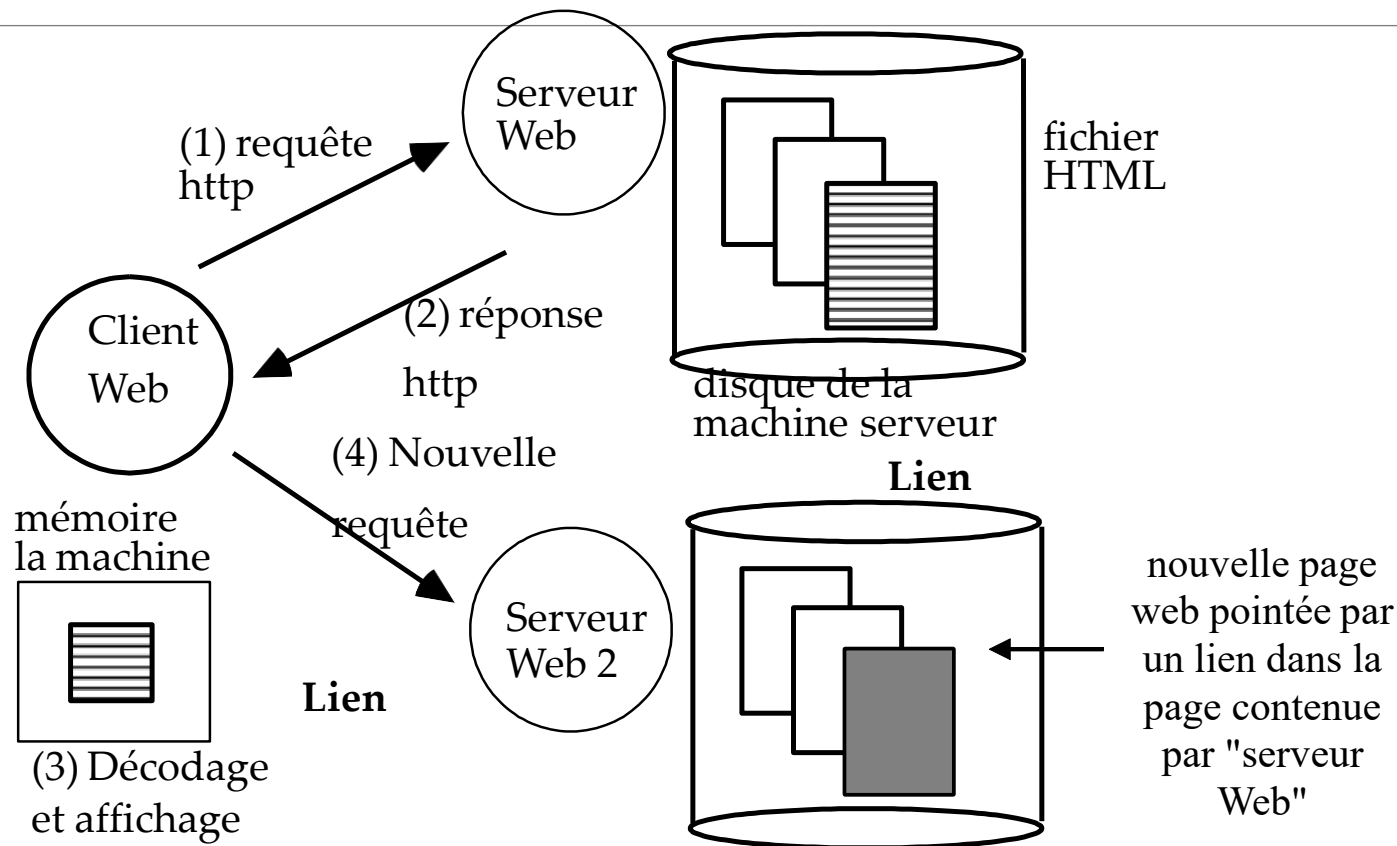
Exemple : requête d'une page web et zoom sur ce qu'il se passe



TCP/IP : protocoles Transmission Control Protocol et Internet Protocol, des piliers de l'Internet

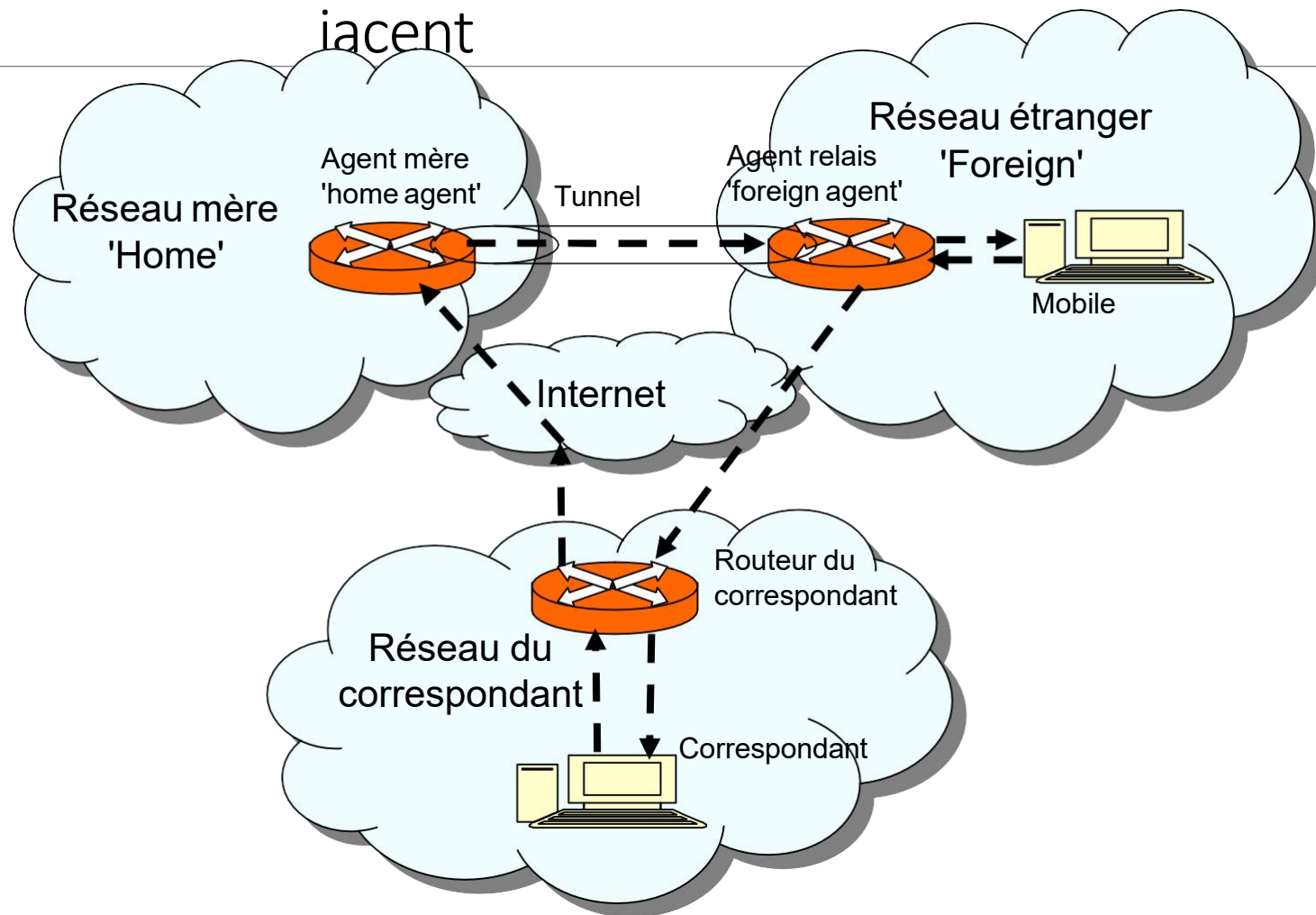
La notion de protocole qu'est-ce ?... On le verra plus tard plus précisément dans ce cours

Requête web plus en détail



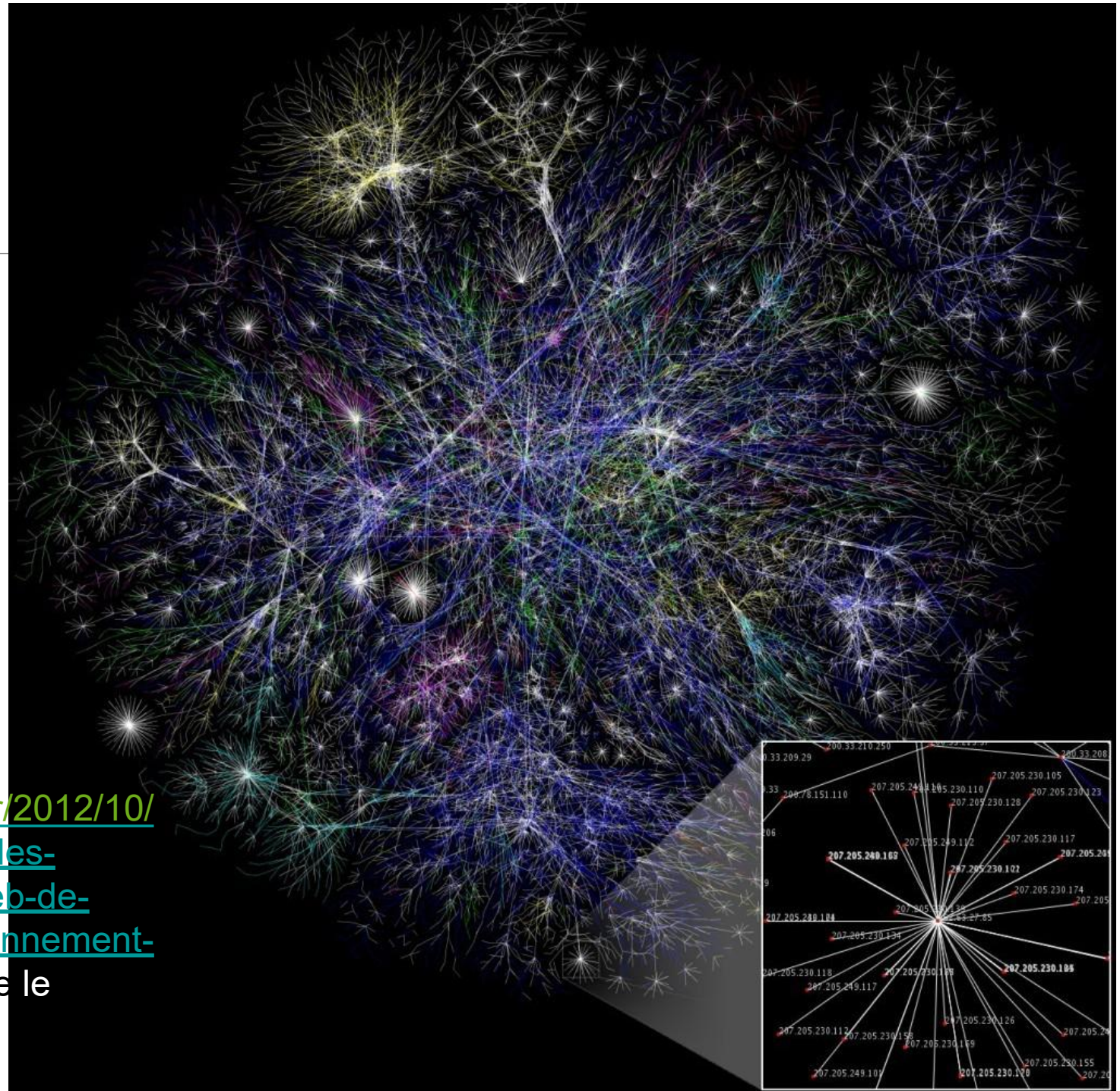
Encore des protocoles : HTTP, et des formats de données HTML, mais tout cela est invisible à l'utilisateur, c'est une boîte noire !

Plus détaillé : avec la prise en compte du routage sous-jacent



Carte globale des connexions internet entre réseaux

<http://blog.sparna.fr/2012/10/19/benefices-cles-des-technologies-du-web-de-donnees-12-lenvironnement-distribue/>, consultée le 18/04/2023



Comment gérer la complexité ?

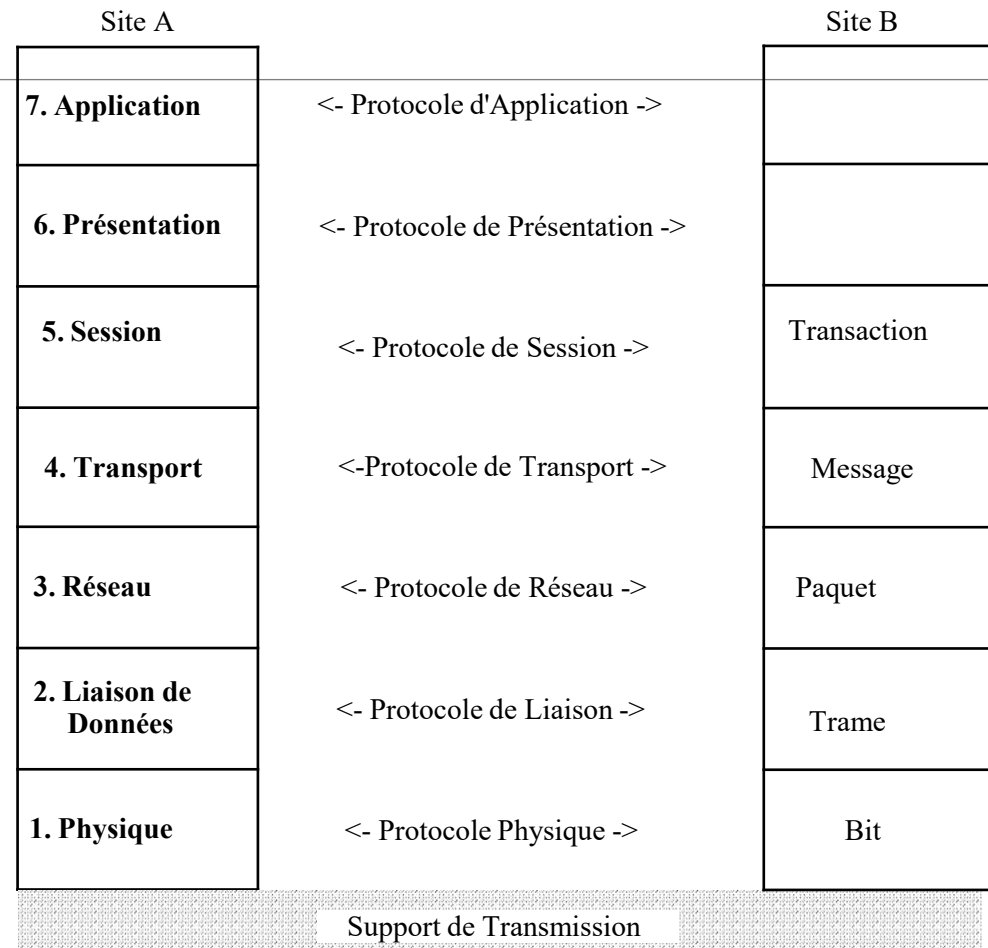
- Il nous faut une approche structurante
 - Rendre chaque problème de communication autonome avec des interfaces claires...
démarche objet voire même programmation par aspects (ex: docker)
 - Trouver à chaque problème une solution qui rentre dans un schéma global cohérent
 - Une approche récursive et générique

Solution : Diviser pour régner

- Cette logique est instanciée par le modèle OSI de l'ISO et les normes associées
- Open Systems Interconnection model from International Standard Organization

Le modèle ISO-OSI

Fournit une
classification
des
problèmes à
résoudre
dans les
architectures
de réseaux



Début des
années 80

Universalité des couches

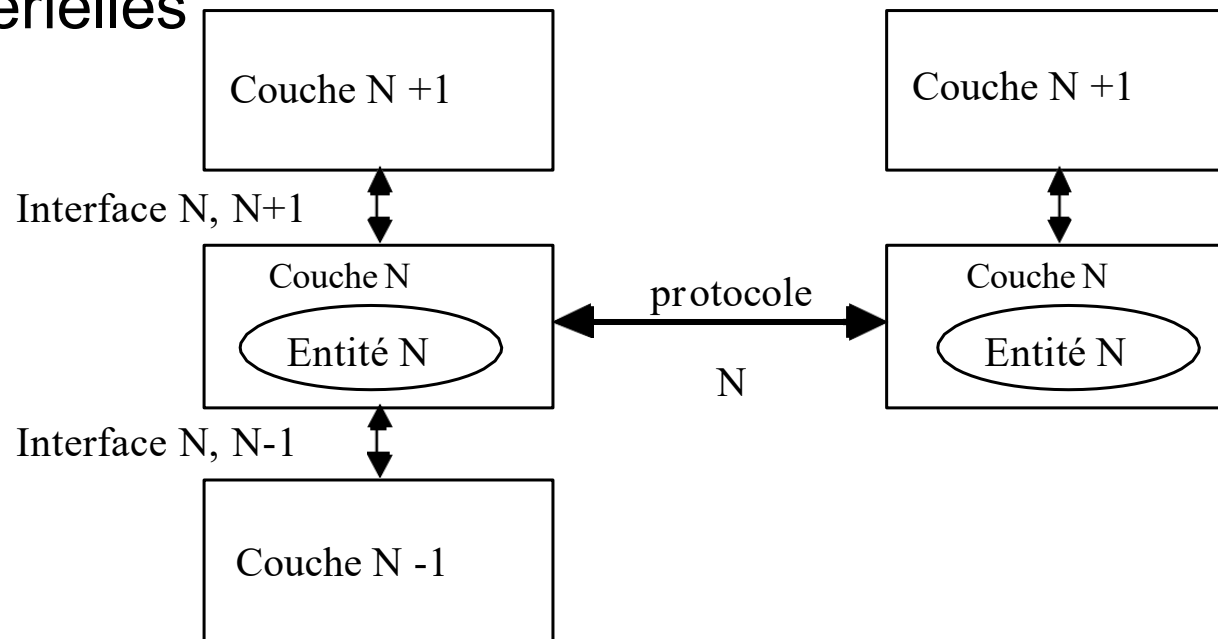
- Il y a eu de nombreuses propositions d'outils protocolaires propriétaires ou non : IBM, Internet, DEC, NetBios, Bull
- Le principe d'une organisation structurée utilisant des **couches de protocoles** se retrouve toujours, même si le découpage n'est pas toujours tout à fait le même

Principe du modèle ISO

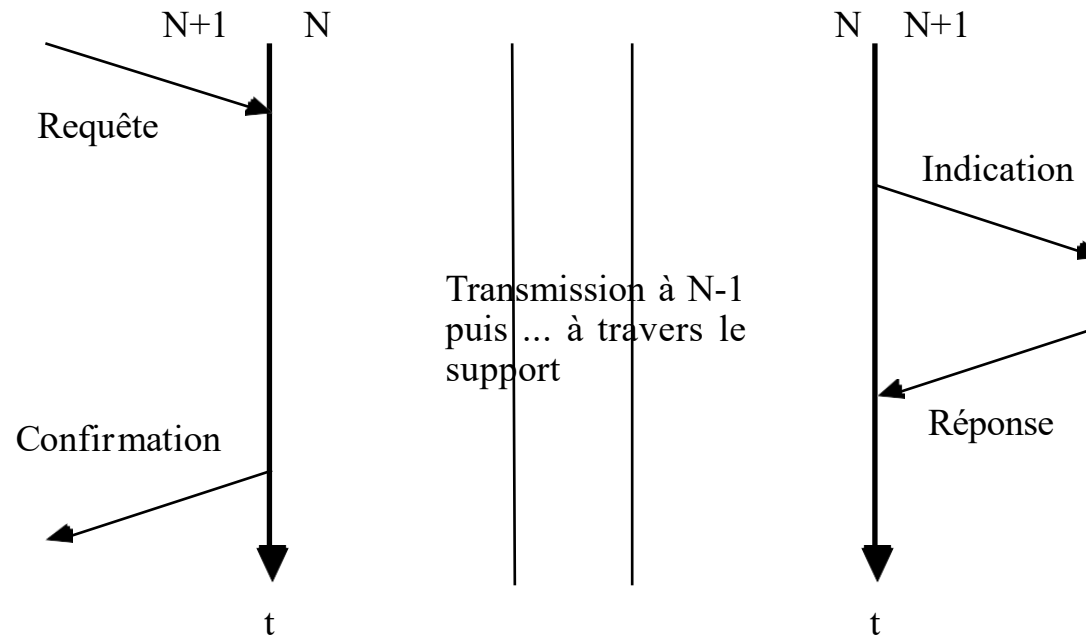
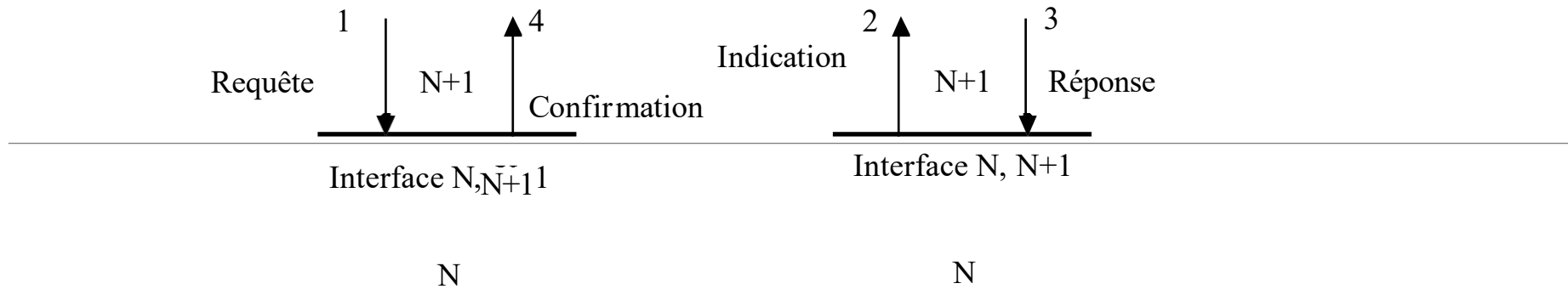
- Une couche N offre un ensemble de services à la couche immédiatement au-dessus N+1.
- Pour cela elle se sert de la couche N-1 immédiatement en dessous, masquant complètement son fonctionnement et sa complexité à la couche au-dessus N+1.

Modèle : Protocole/Entité de Protocole

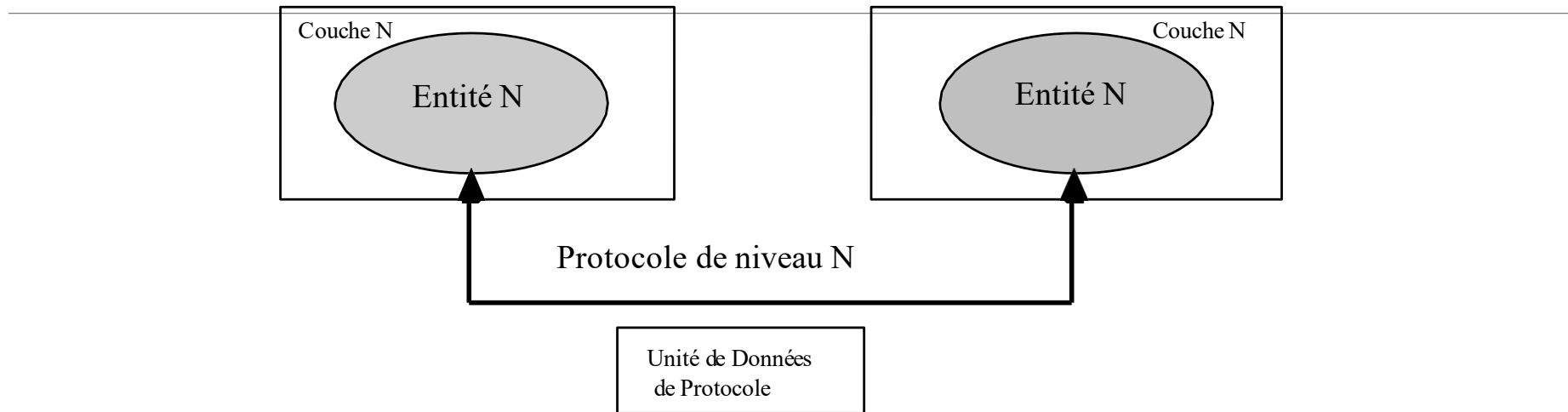
- Idée de Modèle et surtout pas de sa programmation ou de sa mise en œuvre, en particulier pas de structuration en processus d'exécution ou en threads ou en cartes matérielles



Modèle : Primitives de Service



Modèle : Unités de Données de Protocole



types d'unités de données de protocole (PDU en anglais):

- pour l'ouverture d'une connexion
- pour le transfert de données
- pour la fermeture de connexion
- pour les informations de service échangées entre entités N

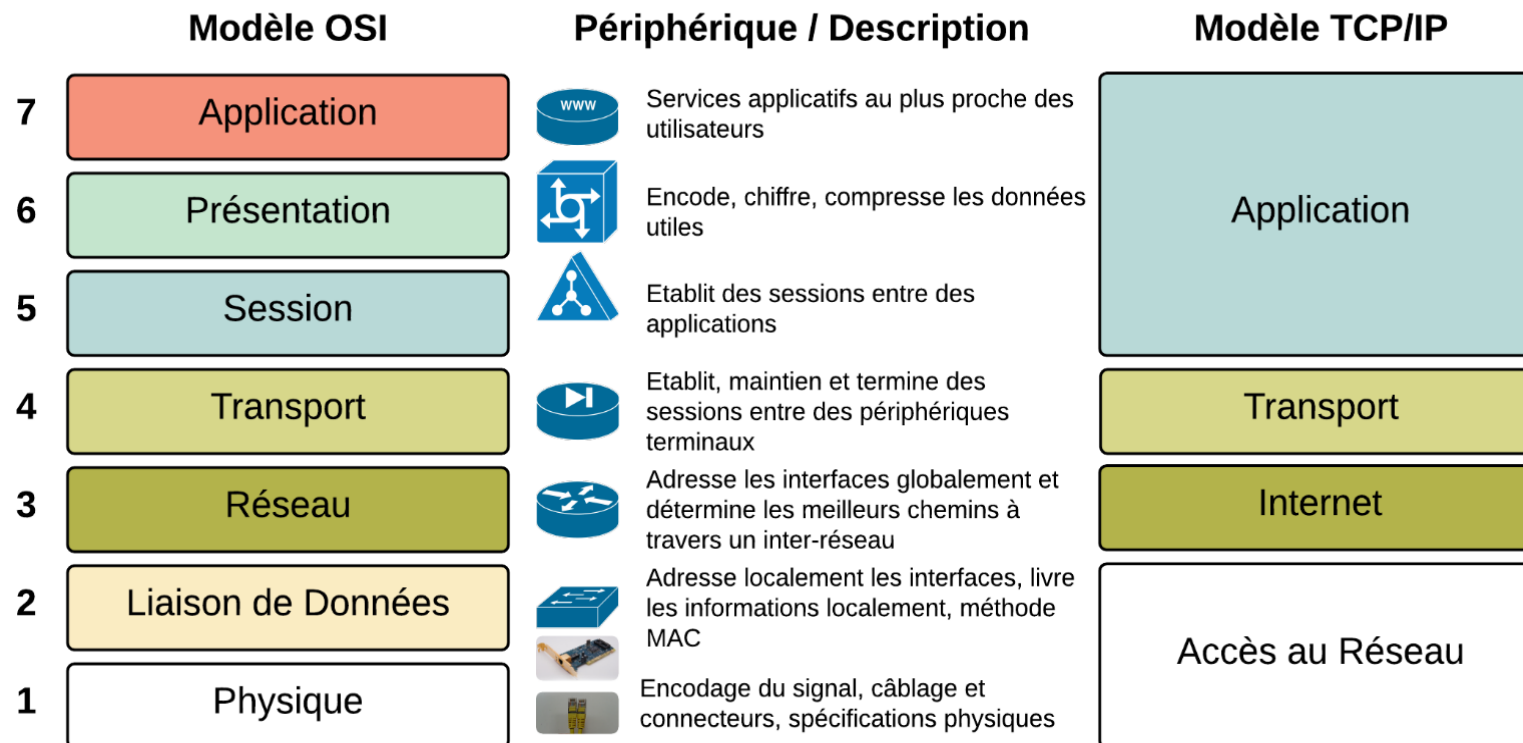
Unités de Données de Protocole

On parle de PDU : Protocol Data Unit dans la littérature de normalisation

Remarque : Modèle qui ne dit pas comment sont implantées ces différentes notions sur une machine, ou dans un système d'exploitation

-> Par exemple sur Unix, une **entité** est un *processus*, l'**accès à un service** de Transport se fait à l'aide d'une "boite aux lettres" appelée *socket* ou *prise réseau*.

Modèle en couches



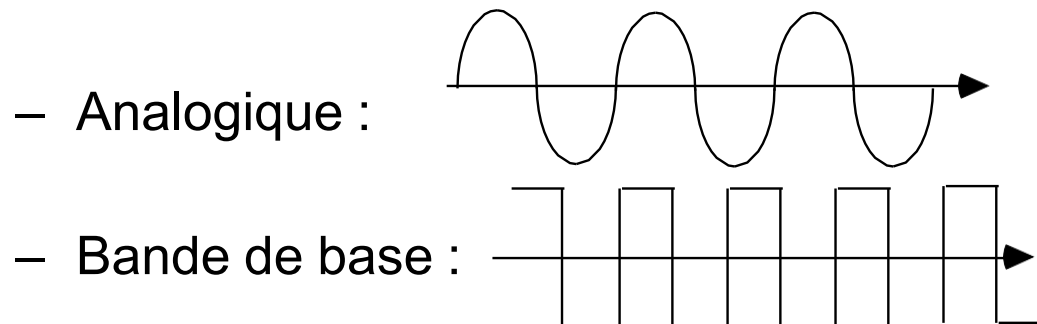
Ensemble de couches

- couches 1 à 4 : réalisation du service d'acheminement d'information
- couches 5-7 : utilisateur du service d'acheminement d'information
- couche 0 : le médium de transmission lui-même
- couche 8 : l'espace applicatif... qui a sa propre normalisation RM-ODP (Reference Model-Open Distributed Processing)

Rôle des 7 couches - Physique

Physique : Rôle double

- Câblage et "fils"... les fils peuvent être immatériels dans le cas de la radio
- Signal électromagnétique, optique, hertzien



- Interface entre les systèmes et le support physique de transmission reliant deux sites qui peuvent communiquer
- Transmission des **bits** (unité de donnée élémentaire) sur une liaison d'un site A (couche liaison de A) à un site B (couche liaison de B).

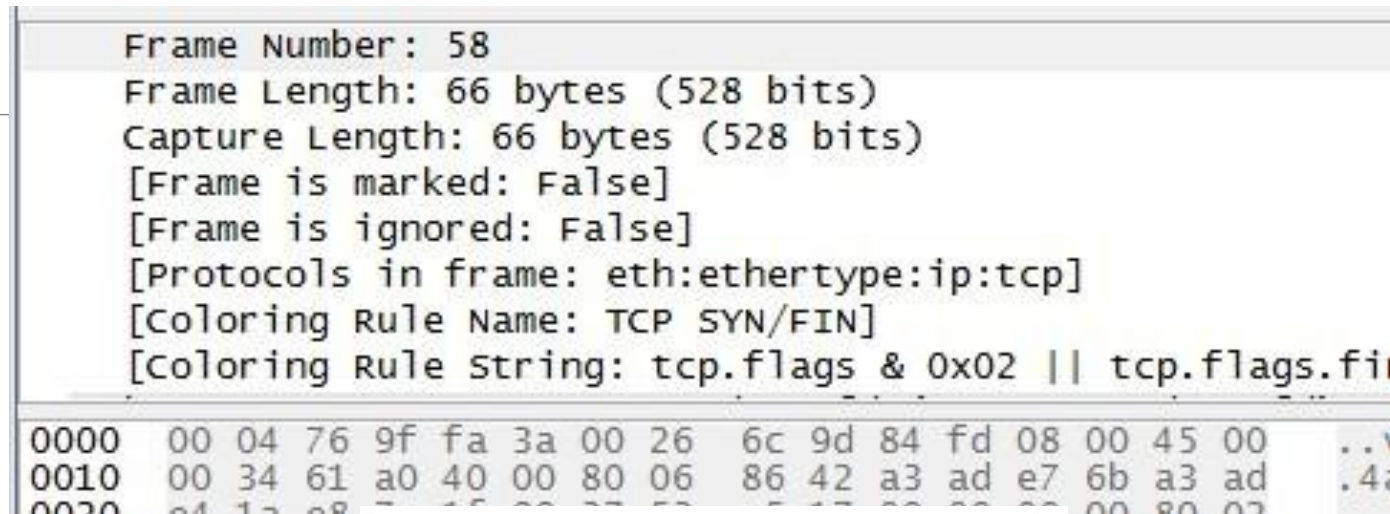
Rôle des 7 couches - Liaison

- Rôle d'acheminer une suite de bits, via la couche physique qui s'occupe de la transmission sous forme d'un signal électrique/lumineux/radio/..., d'une carte coupleur à une autre.
- Les deux coupleurs sont raccordés par le même medium de communication.
- La couche liaison gère des trames

Rôle des 7 couches - Liaison de Données

- Gestion de trains de bits (**trames**) échangés entre 2 machines adjacentes
- Détection et reprise des erreurs de transmission entre machines adjacentes **sur la même liaison**
- Partage d'un canal physique,
- Contrôle du flux de messages,
- Mode de communication : point à point ou 1 vers n (diffusion ou multipoint) suivant le type du support
- Un exemple trafic sur une liaison Ethernet :
<http://ethereal.zing.org/mainwin-19980628.gif>
- Sinon, wireshark sur une machine montre le trafic courant !
- Ethereal est devenue Wirshark

Une frame Ethernet capturée par Wireshark



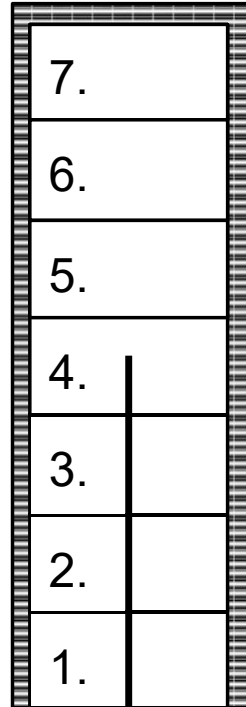
Ethernet Frame

62 bits	Preamble used for bit synchronization
2 bits	Start of Frame Delimiter
48 bits	Destination Ethernet Address
48 bits	Source Ethernet Address
16 bits	Length or Type
46 -1500 bytes	Data
32 bits	Frame Check Sequence

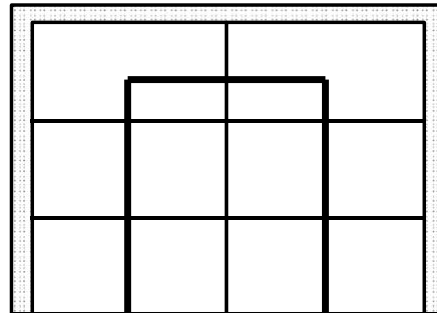
Source :
<http://www.networxsecurity.org/members-area/glossary/e/ethernet-frame.html>

Rôle des 7 couches - Réseau

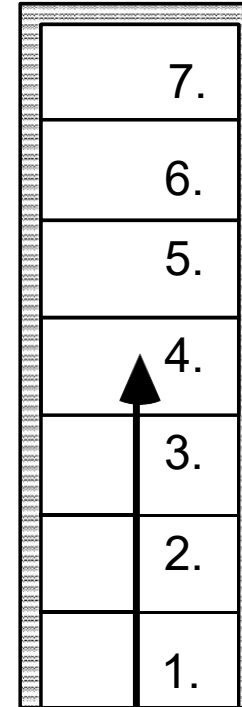
Système source



Système intermédiaire
Fonction de Routage



Système destinataire



Rôle des 7 couches - Réseau

Réseau :

- Routage des **paquets**,
- Homogénéisation de l' Adressage [\[1\]](#),
- Adaptation à la Liaison de Données utilisée,
- Contrôle d'erreurs,
- Contrôle de congestion,
- Guérison de la congestion
- Multiplexage pour optimiser les ressources de communication utilisées.

[\[1\]](#) il peut y avoir autant de modes d'adressages qu'il y a de liaisons de données traversées

Observation^[1] :

- commande ping : ping -I www.inria.fr ou ping www.inria.fr
 - commande traceroute à installer sur une machine linux : Adresses Uniques Universelles A.B.C.D (N°Réseau, N°station) ou tracert sur PC windows
-
- Liste proposée ... certaines machines ont probablement disparues :
 - traceroute www.cnam.fr
 - traceroute www.inria.fr
 - traceroute www.jcu.edu.au (australie)
 - traceroute www.kyoto-u.ac.jp (japon)
 - traceroute www.usp.ac.fj (îles Fidji)
 - traceroute cs.toronto.edu (canada)
 - traceroute gatekeeper.dec.com (usa -ouest - réseau privé)

Pour voir d'autres chemins à partir d'autres machines, essayer la page web <http://www.dnsfrog.com/fr> (le 20/05/2020) qui permet traceroute/ping/interrogation dns/serveur mail.

Parfois traceroute n'est pas autorisé et bloqué. À vérifier dans le cas des sites de la liste... traceroute peut être perçu comme une tentative d'attaque... on n'a pas nécessairement tous routeurs intermédiaires

<http://hax.at/trace/trace.php> (11/10/2011) en autriche donne aussi des réponses.

Les sites indiqués et les liens sont sujets à modification et peuvent ne plus être valides ... c'est toute la difficulté liée à la validité des url dans le temps !

Pour l'histoire, un routage très curieux (années 90):

traceroute cyr.culture.fr (avec un départ du cnam)

traceroute to cyr.culture.fr (143.126.201.251), 30 hops max, 40 byte packets

• 1	internet-gw	(163.173.128.2)	0 ms	0 ms	0 ms
• 2	renater-gw	(192.33.159.1)	0 ms	10 ms	0 ms
• 3	danton1.rerif.ft.net	(193.48.58.113)	110 ms	80 ms	90 ms
• 4	stlamb3.rerif.ft.net	(193.48.53.49)	100 ms	130 ms	100 ms
• 5	stamand1.renater.ft.net	(192.93.43.115)	90 ms	60 ms	50 ms
• 6	stamand3.renater.ft.net	(192.93.43.17)	70 ms	100 ms	90 ms
• 7	rbs1.renater.ft.net	(192.93.43.170)	130 ms	120 ms	*
• 8	Paris-EBS2.Ebone.NET	(192.121.156.226)	110 ms	90 ms	100 ms
• 9	icm-dc-1.icp.net	(192.121.156.202)	220 ms	110 ms	220 ms
• 10	icm-dc-1-F0/0.icp.net	(144.228.20.101)	200 ms	230 ms	290 ms
• 11	Vienna1.VA.Alter.Net	(192.41.177.249)	250 ms	210 ms	240 ms
• 12	Falls-Church4.VA.ALTER.NET	(137.39.100.33)	330 ms	220 ms	180 ms
• 13	Falls-Church1.VA.ALTER.NET	(137.39.8.2)	270 ms	290 ms	230 ms
• 14	Amsterdam2.NL.EU.net	(134.222.35.1)	380 ms	410 ms	460 ms
• 15	Amsterdam1.NL.EU.net	(193.242.84.1)	350 ms	380 ms	310 ms
• 16	134.222.30.2	(134.222.30.2)	150 ms	490 ms	530 ms
• 17	Rocquencourt.FR.EU.net	(193.107.192.18)	340 ms	340 ms	330 ms
• 18	143.126.200.203	(143.126.200.203)	300 ms	410 ms	*
• 19	cyr.culture.fr	(143.126.201.251)	460 ms	220 ms	290 ms

Situation corrigée depuis ... normalement ;-) ! source S. Bortzmeyer quand il était sysnetadmin au Cnam

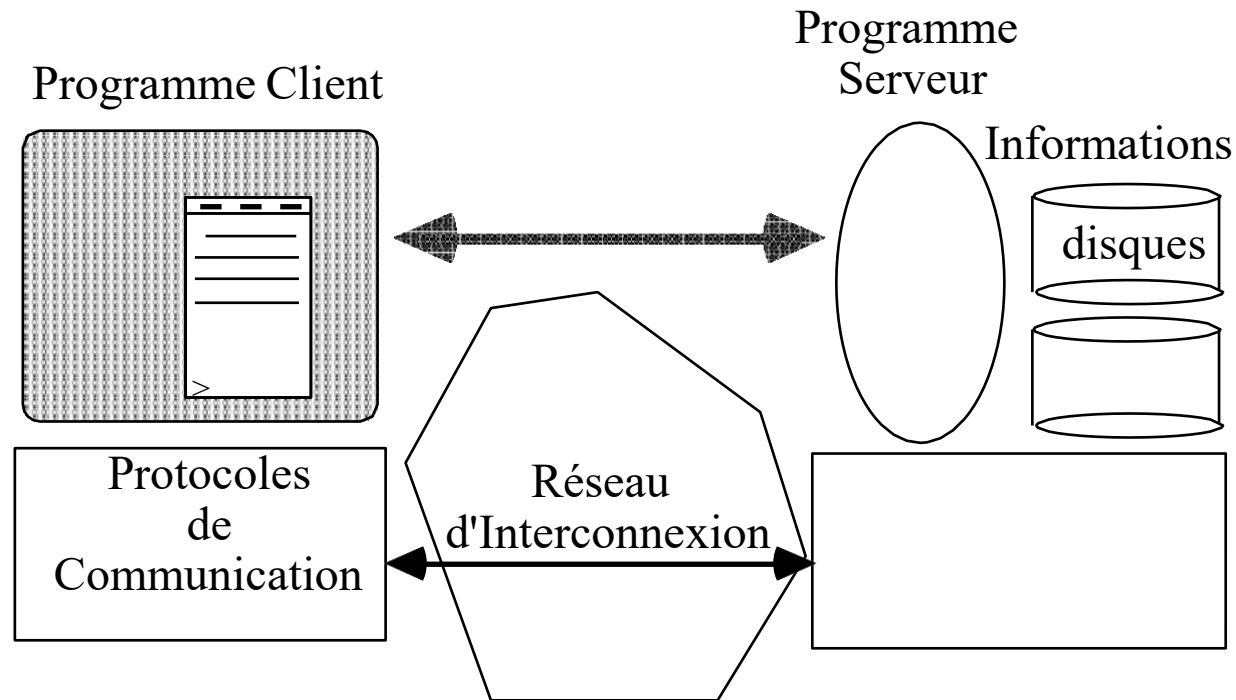
Rôle des 7 couches - Transport

- Contrôle de bout en bout de la transmission des **messages**: deux modes de communication :
 - mode **connecté** (métaphore du téléphone et des Télécoms),
 - mode **non-connecté** (métaphore du courrier et des PTT).
- Multiplexage de connexions de transport,
- Gestion de données urgentes pour le mode connecté seulement,
- Contrôle de flux de bout en bout, différent de celui du niveau Liaison,
- Désignation supplémentaire pour identifier, en plus du site distant, l'entité destinatrice
 - > plusieurs programmes peuvent partager une même machine, un même site

C'est une couche très importante.

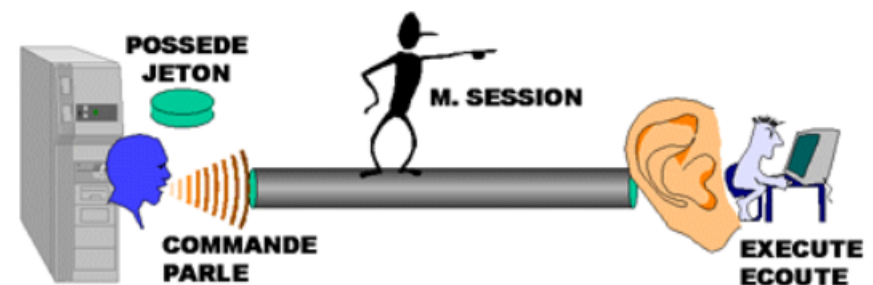
Observation sur Unix : netstat -a

Rôle des 7 couches - Session



Rôle des 7 couches - Session

- Gère le dialogue entre entités réparties :
initialisation, synchronisation, reprise, terminaison.
- > Mécanisme de **transactions** et gestion de **jeton**.
- > Appel de procédure à distance, schéma d'interaction entre deux programmes sur des sites différents adapté au modèle client-serveur qui est intrinsèque à l'Internet... très fréquent dans les jeux multijoueurs



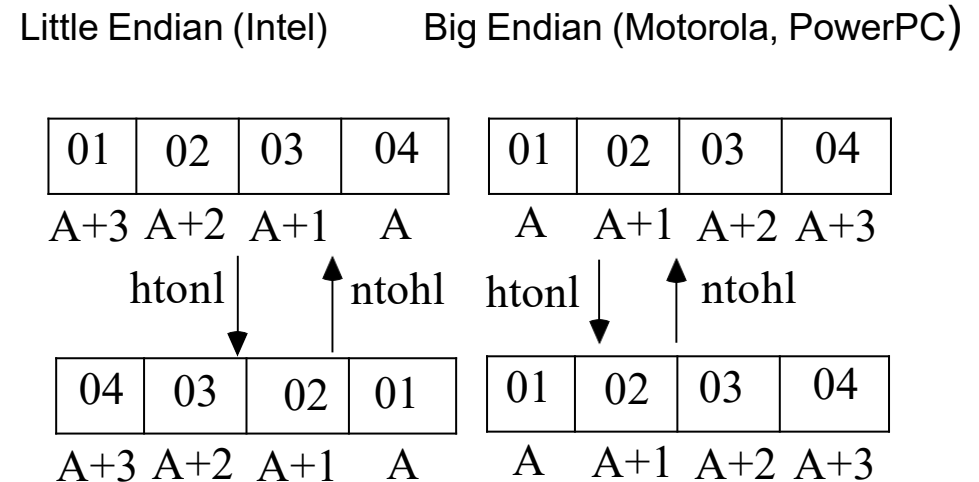
Rôle des 7 couches - Présentation

Concerné par la syntaxe des données transmises:

- -> **Encodage/Décodage** de données pour la communication entre machines hétérogènes (ASCII/EBCDIC, 16/32/64bits, Poids Fort/poids faible),

Observation :

- utilisation des appels systèmes pour les entiers longs : htonl et ntohl



Rôle des 7 couches - Application

Fonctions nécessaires aux applications réparties:

- Terminal Virtuel, Transfert de Fichiers, Courrier Electronique, Web
...
- Sécurité: intégrité, confidentialité, authentification, non répudiation (cours RSX112)
- Compression/Décompression de Données

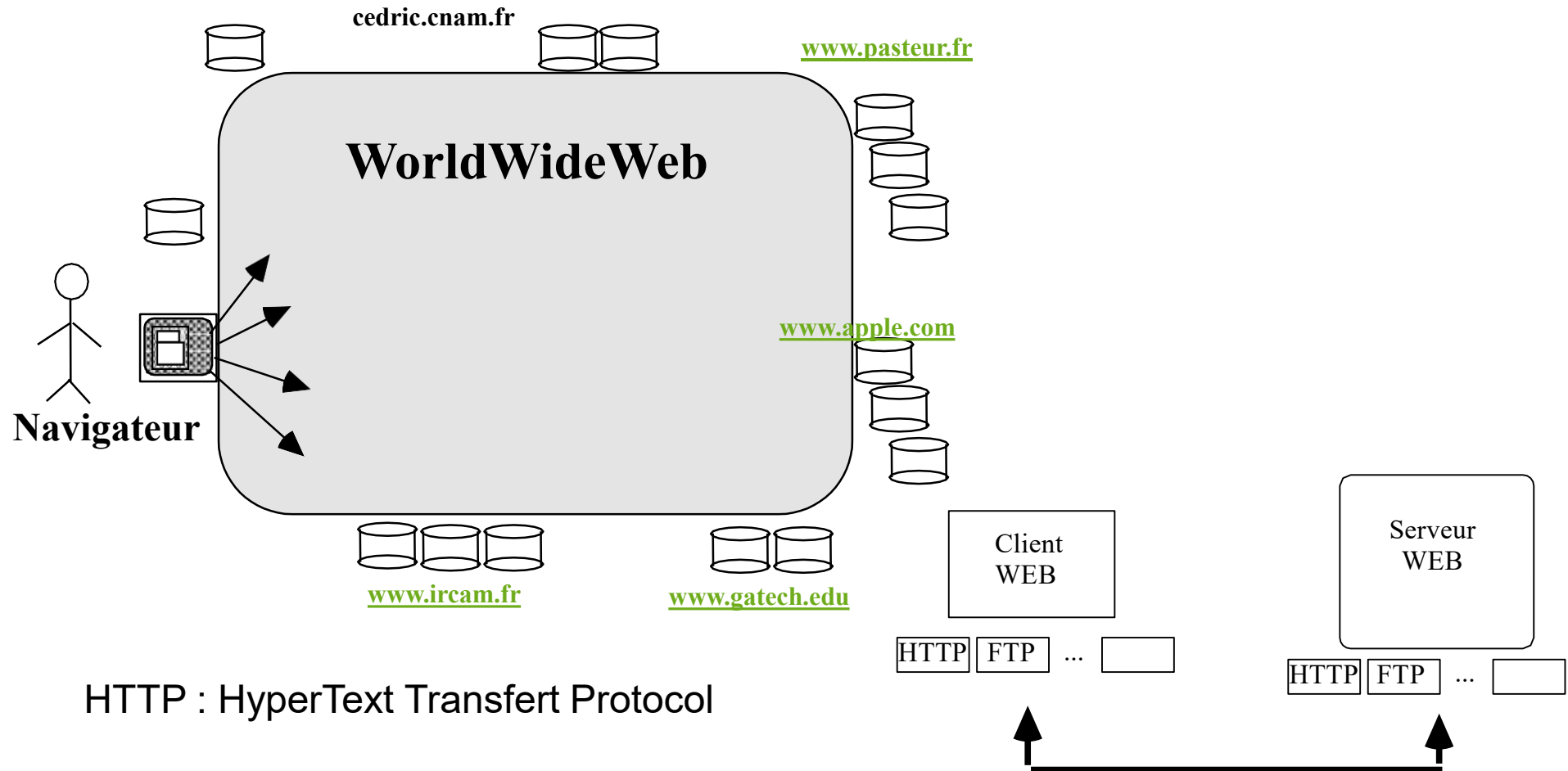
On peut trouver les deux derniers aspects traités à d'autres couches.

Observations :

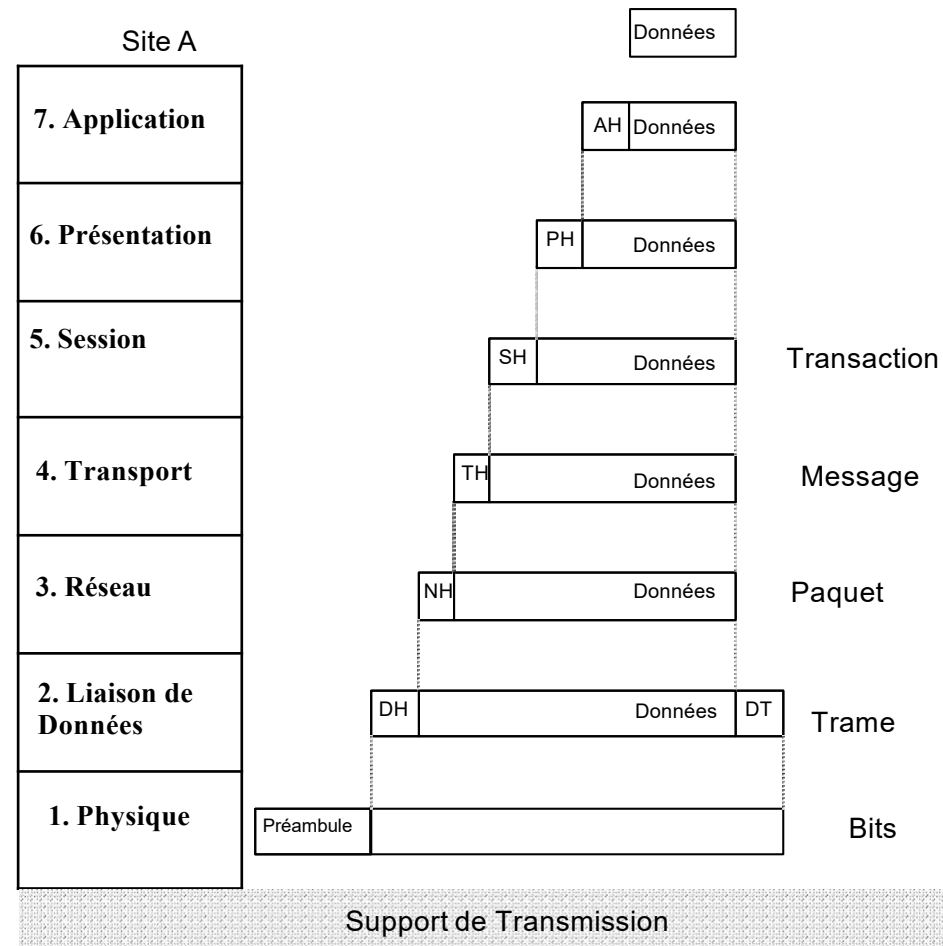
commande nslookup (sur windows) dig sur linux
commande talk
commande telnet
commande ftp (pb de format avec le mode binary)
échange http entre un navigateur et un serveur

Rôle des 7 couches - Univers Utilisateur

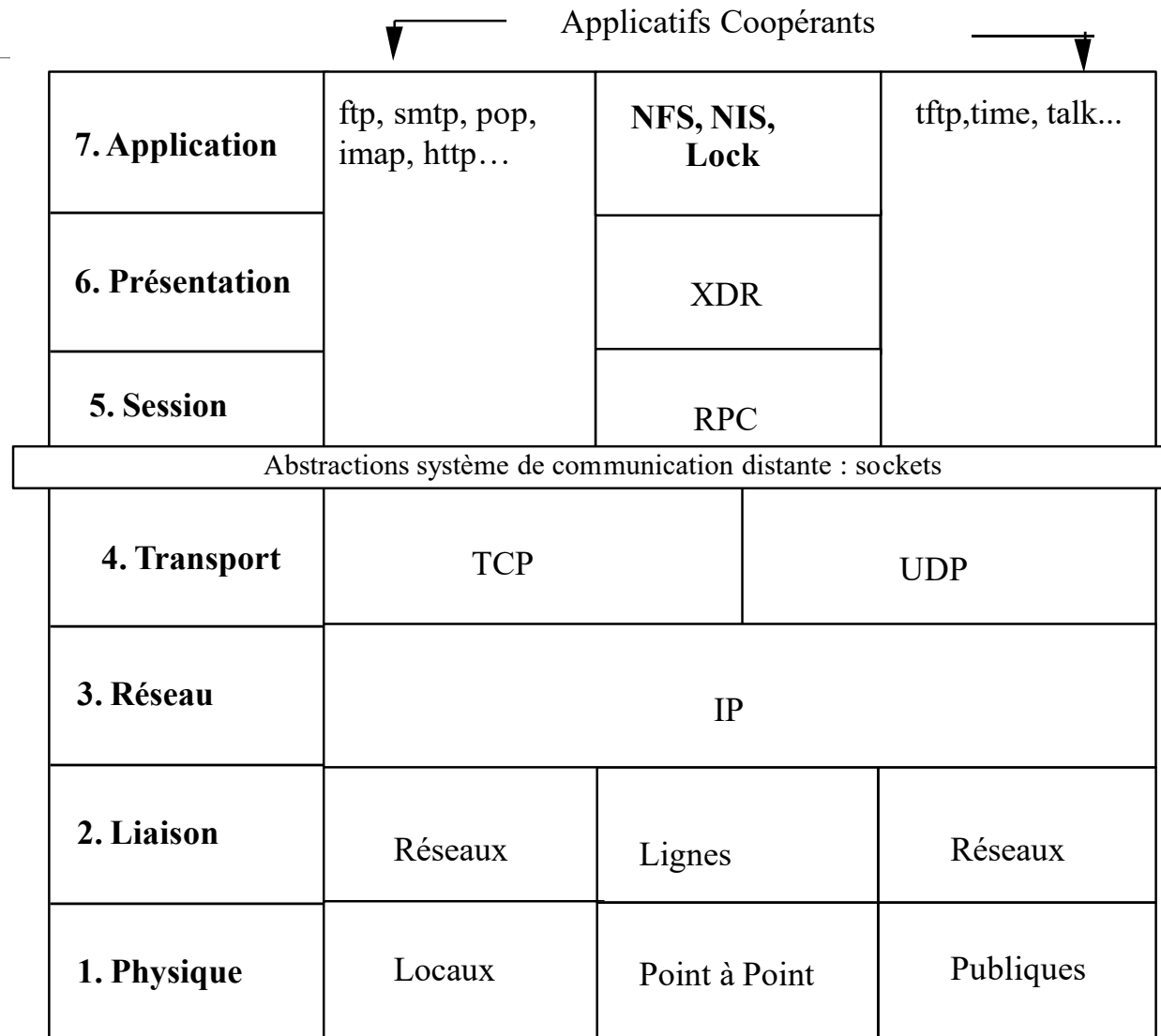
- Utiliser une application qui masque l'utilisation du réseau°:



ajoutées par les différentes couches



Empilement Internet et modèle ISO



18/09/2020

35

Hypothèses de l'univers réseau

Un réseau est un ensemble de sites raccordés par des liens de communication assemblés

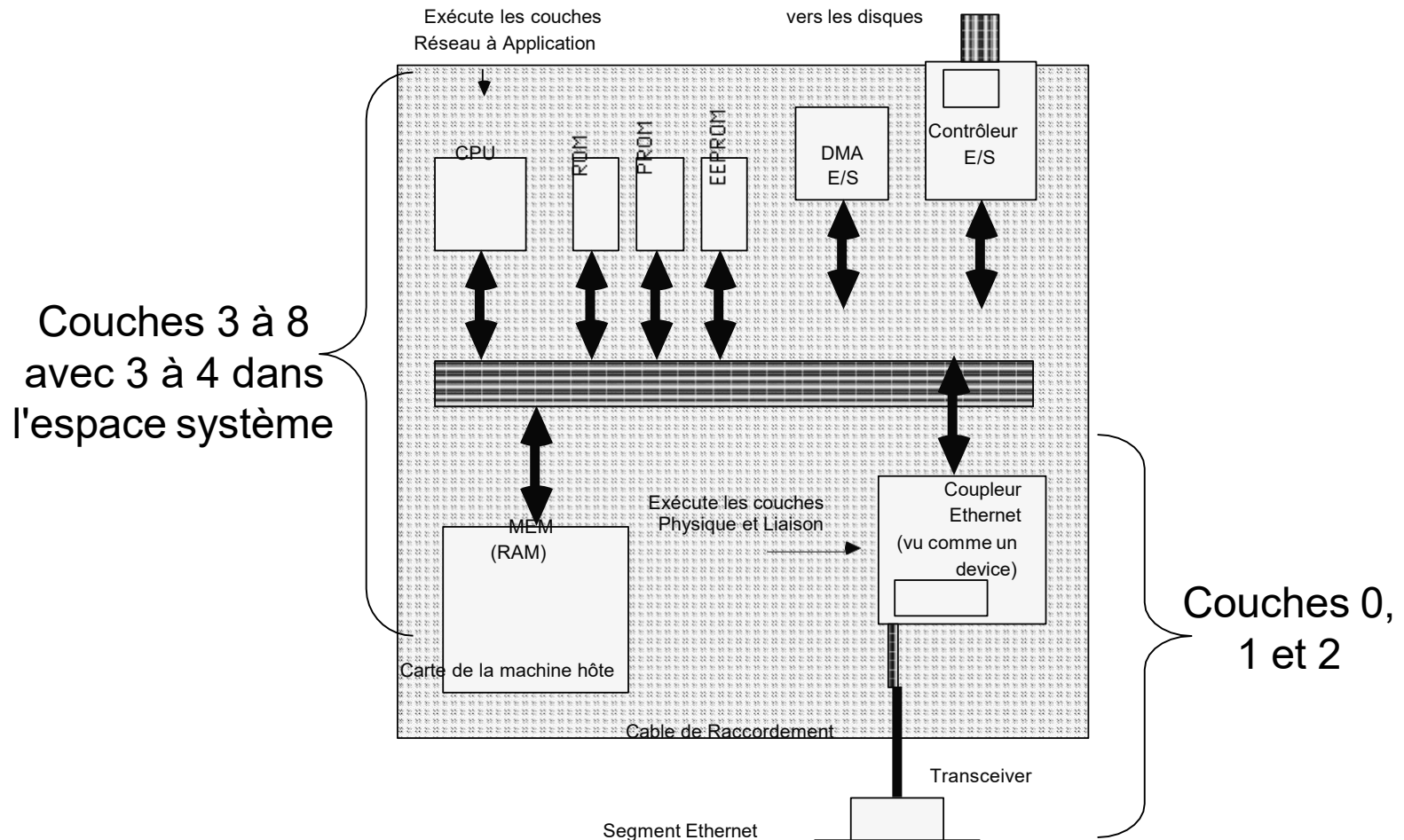
- Comment savoir ce qui se passe sur une machine distante qu'on ne voit pas et sur laquelle les informations sont très parcellaires et peut-être obsolètes?
- Hypothèse de système réparti :
 - pas d'état global
 - pas d'horloge globale

Comment prendre une décision ?

- Caractère probabiliste de toute prise de décision dans les systèmes répartis et donc dans les réseaux.
- Cet aspect probabiliste régit toute l'algorithmique développée dans les réseaux.

Techno- Carte Coupleur

Pour finir, organisation matérielle des couches réseau pour un équipement terminal de type PC.
Le coupleur est un processeur spécialisé en communication réseau qui exécute le protocole Ethernet. -> plusieurs constructeurs : Intel , 3COM...



2. ELEMENTS DE TRANSMISSION

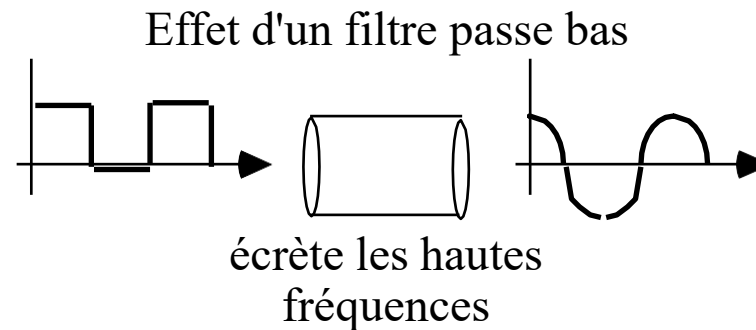
Supports de Transmission

Unité d'information = **le bit**

- **Supports** physiques qui véhiculent les signaux représentant les informations transmises :
 1. Métal - signaux électriques
 2. Ondes radio, faisceaux hertziens,
 3. Infrarouge
 4. Fibre Optique

Obstacles à la transmission

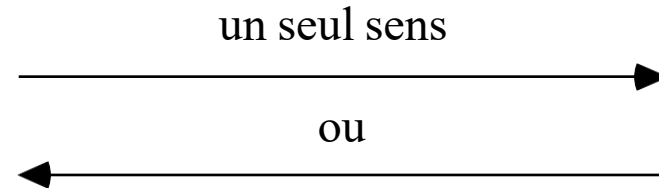
- **Bande Passante du support:** bandes de fréquences supportées par le médium



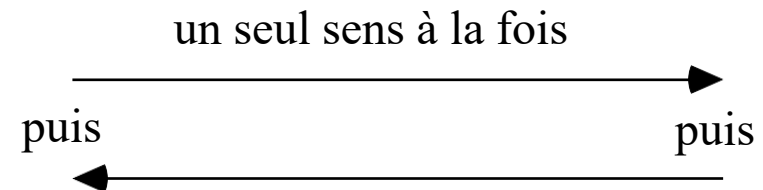
- **Pour transmettre il faut de la bande passante!**
 - **Bruit** : influences externes provoquées par le milieu de transmission (ex: champ électro-magnétique, obstacles...)
 - **Atténuation** : fonction de la longueur et de la nature du support
- Penser aux interférences entre signaux, en particulier dans le domaine hertzien (CEM – Compatibilité Electro-Magnétique)

Types de communications

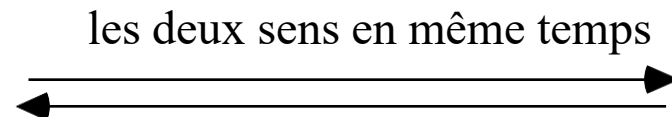
- communication unidirectionnelle :



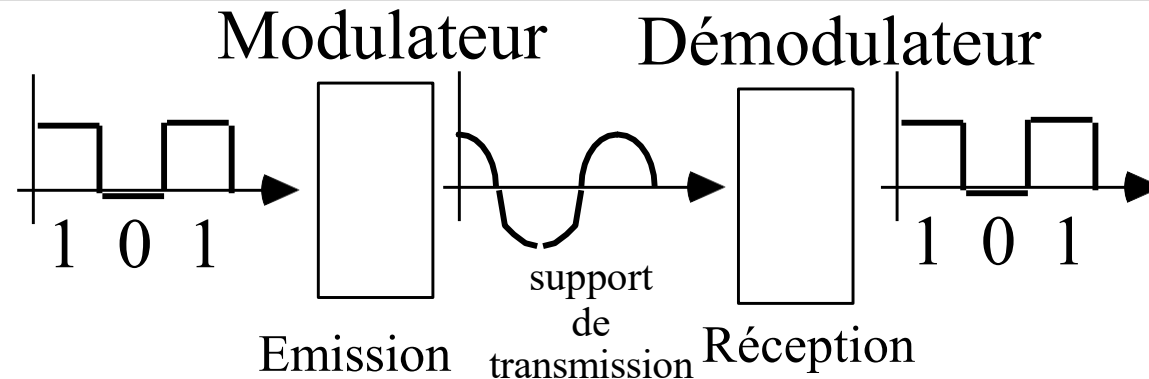
- communication bidirectionnelle à l'alternat (half-duplex) :



- communication bidirectionnelle simultanée (full-duplex) :



Représentation des Signaux

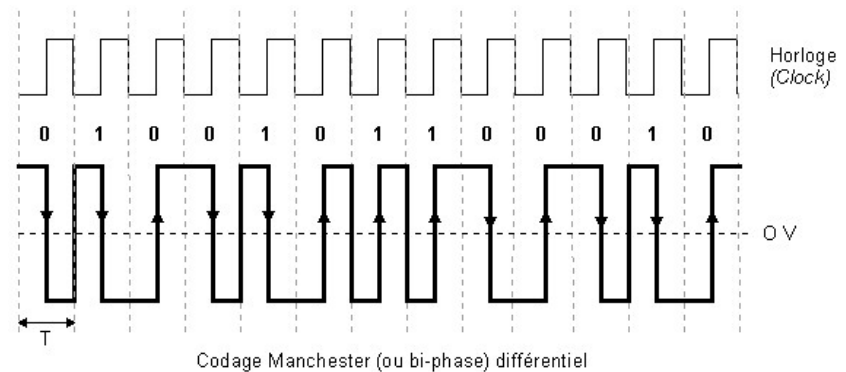
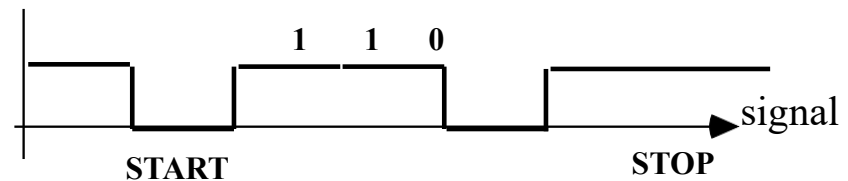
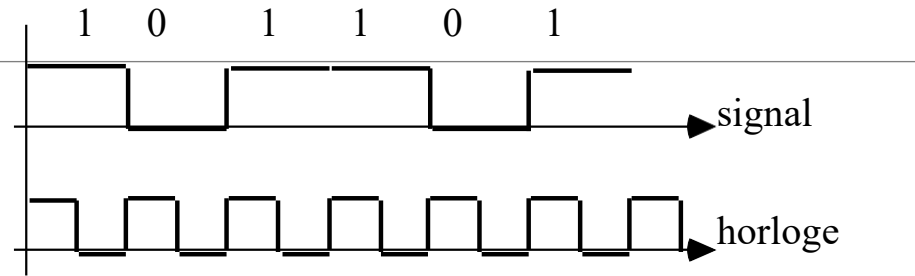


- **Modem** : fonctions de modulateur-démodulateur dans un même boîtier
- 2 types de transmissions :
 - Bande de base
 - Analogique
- Ca se complexifie avec le temps pour offrir de plus en plus de débit en consommant de moins en moins d'énergie pour fabriquer les signaux

Délimiter le début d'un bit

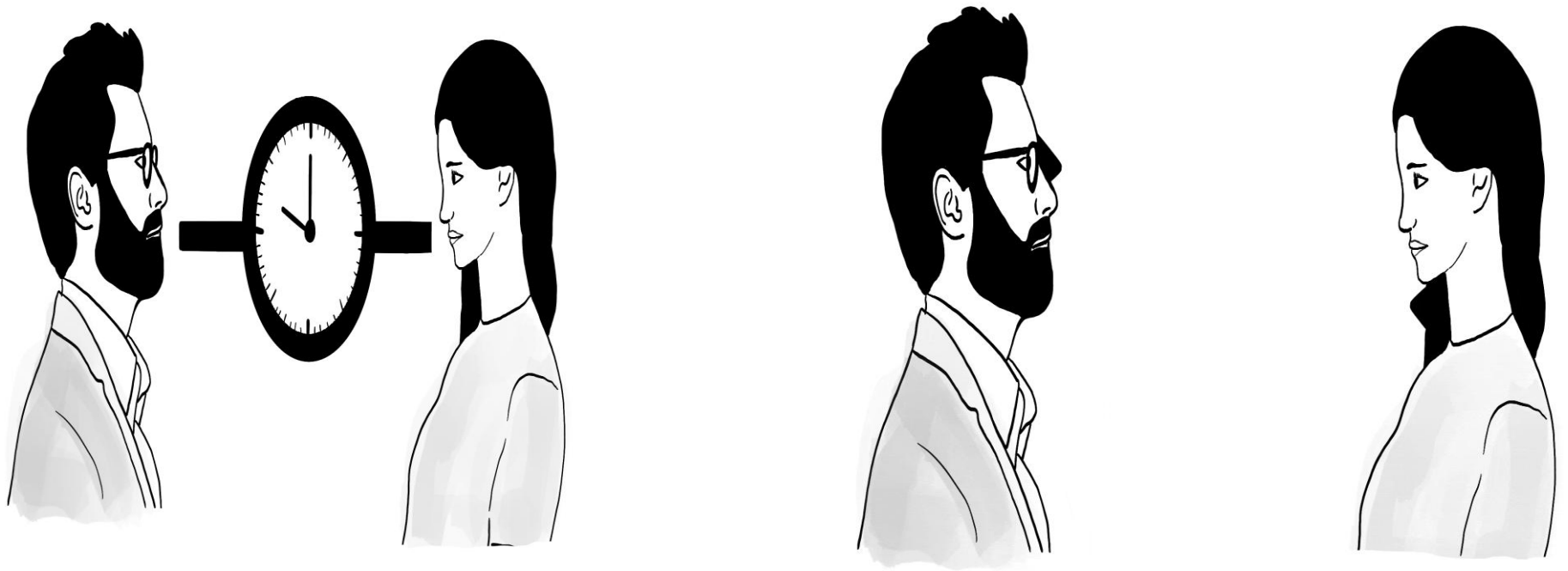
"Signal carré"

- Transmission synchrone -> Référence de temps
- Transmission asynchrone -> Pas de Référence de temps
- On peut mettre l'horloge dans le signal comme dans Ethernet avec le codage -> différentiel Manchester



http://f6css.free.fr/nrz_nrzi.htm

Dans le vie...c'est l'exemple d'une communication synchrone et asynchrone



Délimiter le début d'une trame

La transmission asynchrone pose le problème de trouver le début d'une trame dans un flux de bits, c'est important pour le récepteur

- **Difficultés du problème**
 - Le bruit peut faire perdre la synchronisation trame.
 - Le bruit peut créer des trames fictives (à une trame émise peut correspondre une trame ou plusieurs trames reçues en raison du bruit découpant ou créant des trames parasites).
- **La solution de base:**
 - Se donner un mécanisme de **séparation des trames**.
 - Associer à une trame **un code polynomial détecteur d'erreur**.
 - Quand on décide qu'**une trame est délimitée en réception**, on vérifie la **correction** au moyen du code polynomial.
 - Si elle est **incorrecte ou séparée** en plusieurs trames incorrectes **on abandonne les informations reçues** (destruction silencieuse).

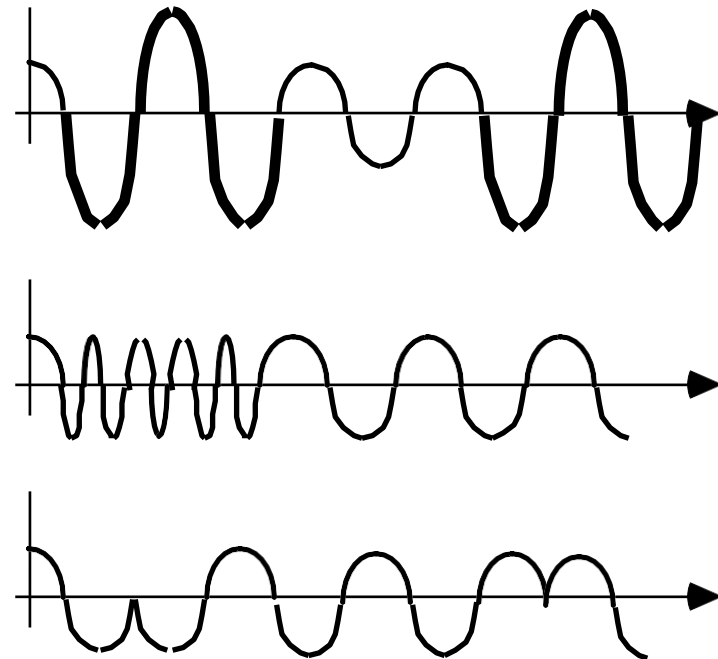
On verra des solutions plus en détail pour la liaison

Transmission en modulation

"Signal de type sinusoïdal"

- modulation d'amplitude
- modulation de fréquence
- modulation de phase

Il est possible de combiner les différents types de modulations



Quantification du débit en fonction de la bande passante

Débit en fonction de la Valence (Nyquist)

- Rapidité de Modulation : **$R \text{ (bauds)} = 2 * BP$** , la Bande Passante s'exprime en Hz

Théorème d'échantillonnage :

- Débit max: **$D_{\max} \text{ (b/s)} = 2 * BP \log_2 V$**
- V est une puissance de 2. La Valence correspond au nombre de niveaux significatifs d'un signal.

ou une autre expression de la formule précédente

- "Si un signal quelconque est appliqué à l'entrée d'un filtre passe bas (support de transmission par exemple), le signal filtré peut être reconstitué si on échantillonne ce signal à une vitesse de $2 * BP$.[\[1\]](#)"

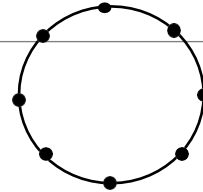
Débit en fonction du bruit (Shanon) :

- Débit max : **$C \text{ (b/s)} = BP \log_2 (1 + S/N)$**
- $10 \log_{10} S/N = x \text{ dB}$ (mesure du rapport signal sur bruit en décibels)
- S est l'énergie significative du signal, N est l'énergie des bruits et parasites

[\[1\]](#) pas la peine d'échantillonner plus vite car les harmoniques supplémentaires qui pourraient servir à reconstituer le signal ont été éliminées par le filtre passe bas

Topologies

- **Anneau**

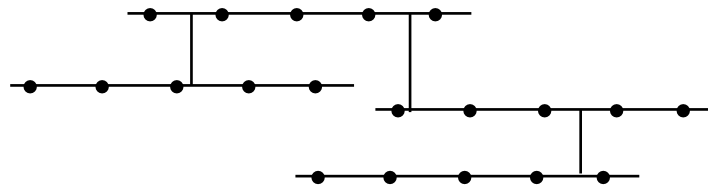


- **Bus**

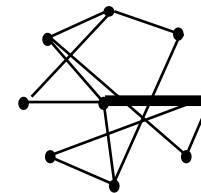
lien multipoint - capacité de diffusion



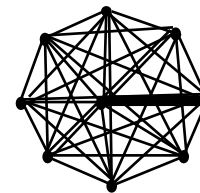
- **Arbre**



- **Réseau Maillé**

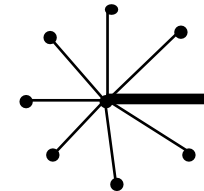


maillé



maillé complet

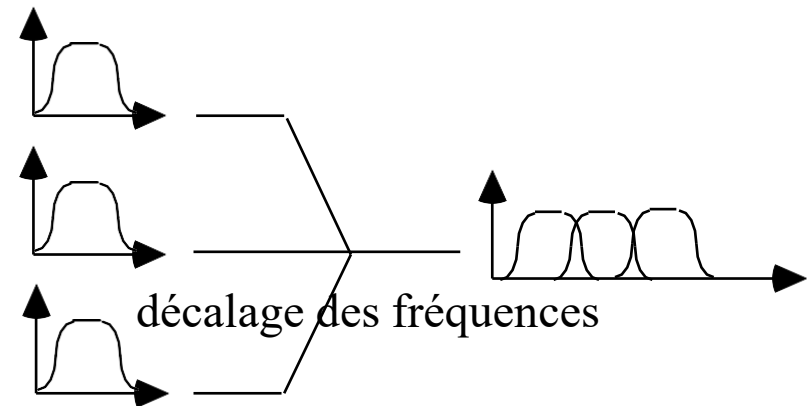
- **Etoile**



Multiplexage

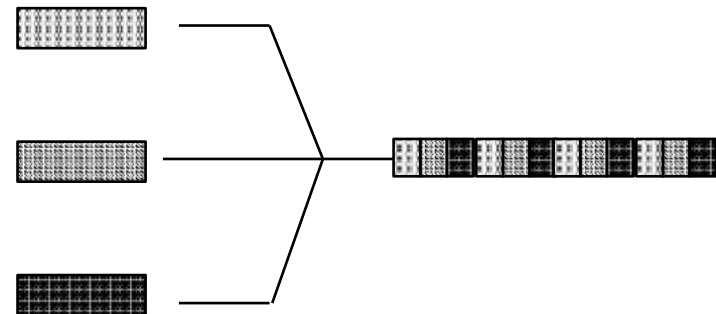
- Faire passer plusieurs communications dans un seul canal :

- Multiplexage en fréquence :



- Multiplexage temporel :

- L'opération inverse est le démultiplexage



Exemple de Multiplexage Temporel : le "vieux" mais facile à comprendre RNIS

Même si c'est une technologie qui est frappée d'obsolescence et devient une partie de l'histoire, elle est simple pour comprendre le multiplexage temporel donc intéressante.

- L'utilisateur voit 2 canaux B (64kb/s chacun) et un canal D (16kb/s) pour un accès de base.
- Les canaux B peuvent transporter de la voix (8 bits toutes les 125 μ s).
- En réalité, le tout est multiplexé (multiplexage temporel) sur une voie à 192kb/s, soit 144 kb/s de trafic utilisateur ($2 \times 64 + 16$) et 48kb/s de trafic réservé aux données de service.
- La transmission est synchrone et l'horloge est donnée par la terminaison numérique de réseau (TNR qui appartient à l'opérateur).

Remarque : Le débit de 64kb/s lié au concept de MIC, un MIC regroupe 32 voies à 64 kb/s.

- En Europe, le premier niveau de MIC offre un débit de 2048kb/s ! Ce type de lien sert à offrir des liaisons spécialisées haut débit. Les niveaux suivants regroupent 4 MIC du niveau juste au-dessous.
- Ce sont des préoccupations de Réseaux et Telecom.

Techniques de détection d'erreurs

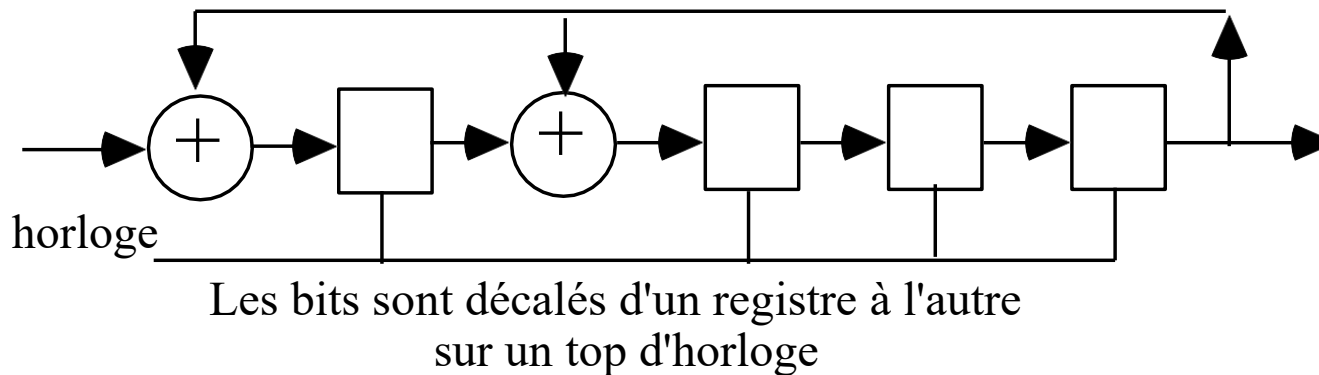
On ajoute au message un morceau d'information supplémentaire : le CRC (Cyclic Redundancy Code) qui dépend du message à transmettre. Cette technique qui utilise les codes polynomiaux est la plus répandue.


principe :

- à l'émission : le message représente un polynôme qui est divisé par un polynôme $g(x)$, le reste de la division est ajouté à la fin du message.
- à la réception : ce qui est reçu est divisé par le même polynôme $g(x)$, si le reste de la division est nul, il n'y a pas eu d'erreur lors de la de transmission.

Exemple

- circuit diviseur modulo 2 qui correspond au polynome x^4+x+1



 ou exclusif, vu comme un additionneur

 Registre à décalage

Conclusion

- L'acheminement de données d'une application à une autre est un problème complexe
- Pour y répondre, il a été proposé un modèle en couches où chaque couche résout un pb de communication efficacement
- Chaque couche a ses propres protocoles, unités de données et de service, services pour la communication
- La couche physique est le socle de base du modèle en couche introduit par l'ISO

Quelques vidéos pédagogiques

- How Internet Traffic works - Warriors of The Net
[PART 1] [SparkleyWhiskey](http://www.youtube.com/watch?v=bH2-eqFK-8s),
<http://www.youtube.com/watch?v=bH2-eqFK-8s>
(Consultée le 6/10/2015)
- How Internet Traffic works - Warriors of The Net
[PART 2] [SparkleyWhiskey](http://www.youtube.com/watch?v=x2apGdpIGQI&feature=relmfu),
[http://www.youtube.com/watch?v=x2apGdpIGQI
&feature=relmfu](http://www.youtube.com/watch?v=x2apGdpIGQI&feature=relmfu) (Consultée le 6/10/2015)
- History of the Internet, vidéo découverte par
Etienne Forme (promotion 2013-2014 de
SMB104)
<http://www.youtube.com/watch?v=9hIQjrMHTv4>
(Consultée le 6/10/2015)