ENSEIRB-MATMECA

Version étudiant

Introduction aux réseaux et à Internet. Programmation réseau

email : kadionik@enseirb-matmeca.fr
web : http://kadionik.vvv.enseirb-matmeca.fr

Patrice KADIONIK
ENSEIRB-MATMECA

PARTIE 1
OBJECTIFS DU COURS

Objectifs

- Introduction aux réseaux de télécommunication, à Internet et à ses protocoles de communication associés.
- Introduction à la programmation réseau.
- Complément en informatique technique : maîtrise de la programmation (en langage C) des *sockets*. Perfectionnement du langage C.

Objectifs

- La maîtrise de l'utilisation des *sockets* liées à Internet impose naturellement d'aborder les thèmes suivants :
  - Introduction aux réseaux. Le modèle OSI.
  - Introduction à Internet et à Internet embarqué.
  - Introduction à l'Internet des objets.
  - Introduction à la norme Ethernet.
  - Présentation des protocoles Internet : IP, TCP, UDP…
  - Architecture client/serveur.
  - Programmation réseau avec l'API *sockets*.

Objectifs

- Ce support à destination de l'étudiant ne contient que les parties du cours sur lesquelles il sera évalué lors de l'examen…

PARTIE 3
LE MODELE OSI

Qu'est-ce que l'ISO ?

- L'organisation internationale de normalisation ISO est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation de quelque 140 pays à raison d'un organisme par pays.

- L'ISO est une organisation non gouvernementale créée en 1947. Elle a pour mission de favoriser le développement de la normalisation et des activités connexes dans le monde en vue de faciliter entre les nations les échanges de biens et de services et de développer la coopération dans les domaines intellectuel, scientifique, technique et économique.

http://www.iso.org

Le modèle OSI

- Dans les années 70 apparaît la nécessité de systèmes (matériel et logiciel) ouverts par opposition aux systèmes propriétaires (IBM, BULL, DEC…).

- Caractéristiques d'un système ouvert :
  - *Portabilité.*
  - *Interopérabilité.*

- Le but d'un modèle est de proposer aux constructeurs un schéma sur lequel ils pourront bâtir leurs solutions matérielles et logicielles. En s'appuyant sur un modèle normalisé, ils s'assurent d'un produit ouvert aux autres systèmes qui s'appuient sur la même norme.

Le modèle OSI

- 1977 : l'ISO démarre une réflexion sur une architecture de réseau en couches.
- 1984 : définition du modèle OSI :
  - *Open* : systèmes ouverts à la communication avec d'autres systèmes.
  - *System* : ensemble des moyens informatiques (matériel et logiciel) contribuant au traitement et au transfert de l'information.
  - *Interconnection.*
- Modèle d'architecture de réseau : le modèle OSI !

Terminologie

- Le modèle OSI repose sur trois concepts importants :
  - Les couches.
  - Les protocoles.
  - Les interfaces.
- On distingue deux grands groupes de couches :
  - Les couches 1 à 3 sont les couches basses orientées transmission des données.
  - Les couches 4 à 7 sont les couches hautes orientées traitement des données.

Terminologie

- Chaque couche va rendre des services à la couche immédiatement supérieure et utiliser les services de la couche immédiatement inférieure. Les couches ne communiquent qu'avec les couches qui leur sont adjacentes.
- Les protocoles de communication sont les règles qui définissent le dialogue entre couches de même niveau de deux systèmes différents. Les règles et conventions utilisées lors du dialogue entre deux couches n sont appelées protocole de communication de couche n.
- Une interface est donc un ensemble de services proposés par les couches aux autres couches.

Architecture en couches

- Le concept de couches s'impose en informatique dès qu'il s'agit de subdiviser les tâches d'un système.
- Il est utilisé aussi dans les systèmes d'exploitation.
- On le retrouve dans la conception des réseaux.

Architecture en couches

- Chaque couche offre des services à celle qui lui est directement supérieure.
- Elle lui masque les détails de son implémentation.
- Elle utilise les services de la couche directement inférieure.

Couche inférieure = plus proche du matériel.
Couche supérieure= plus proche des applications.

Avantages des systèmes en couches

- Décomposition en modules relativement simples.
- Possibilité de modifier un module sans devoir adapter les autres.
- Abstraction de la complexité d'un module aux concepteurs des autres modules.
- Il est inutile de comprendre tous les détails pour pouvoir comprendre l'ensemble.
- Développement, corrections, modifications et évolutions facilités…

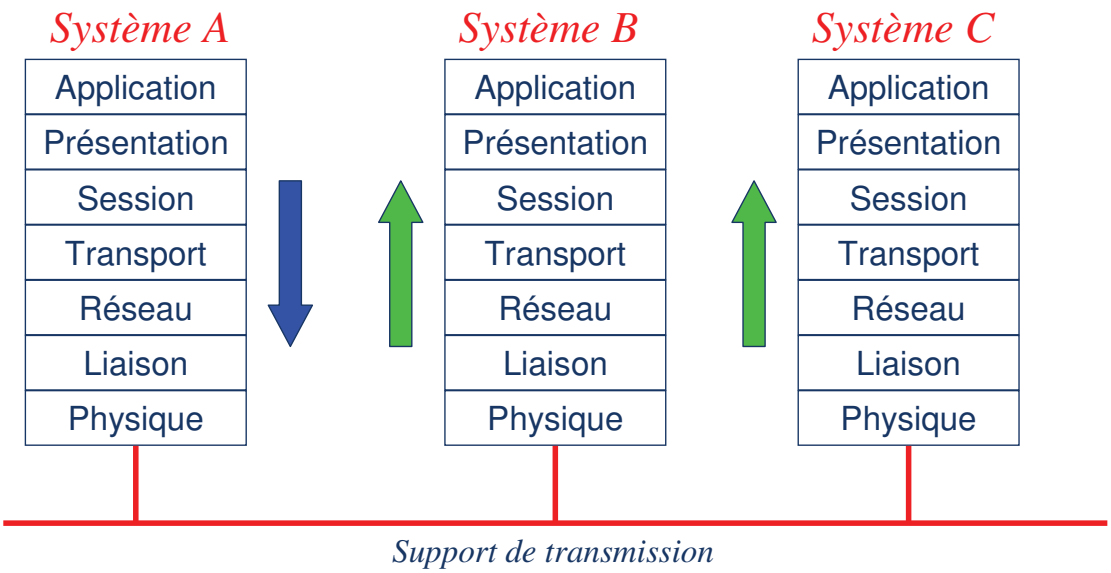
Protocole

- Ce sont les conventions entre entités pour échanger des données.
- Le protocole gère des informations de contrôle qui accompagnent les blocs de données.
- But :
  - Identification du début et de la fin de chaque élément d'un bloc.
  - Fonctions de commandes telles que l'initialisation, l'interrogation, l'identification des équipements.
  - Détection des erreurs de transmission.

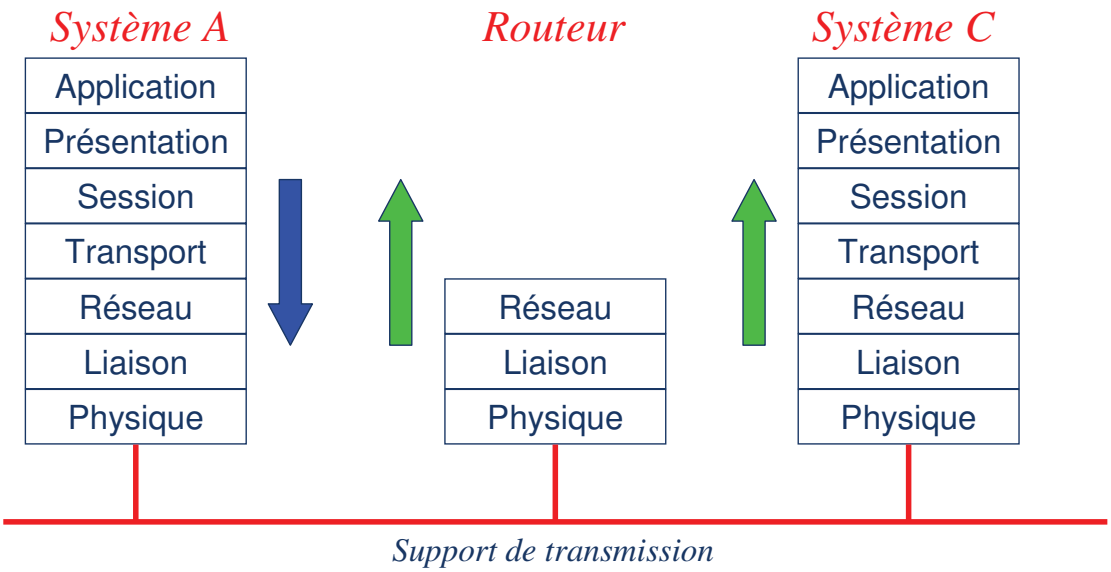
Les 7 couches du modèle OSI

- 7 Application
- 6 Présentation
- 5 Session
- 4 Transport
- 3 Réseau
- 2 Liaison
- 1 Physique

Les 7 couches du modèle OSI



Le modèle OSI. Routeur

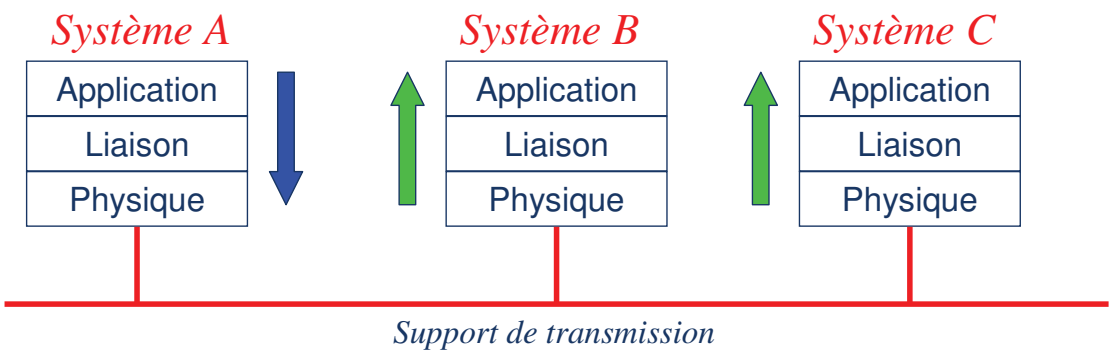


Le modèle OSI. Bus de terrain

- Les bus de terrain sont des réseaux utilisés pour les automatismes où le respect des contraintes temporelles est important (ex : bus CAN…).

– 7	Application	Spécifié par l'utilisateur
– 6	Présentation	(vide)
– 5	Session	(vide)
– 4	Transport	(vide)
– 3	Réseau	(vide)
– 2	Liaison	Protocole CAN…
– 1	Physique	Libre choix

Le modèle OSI. Bus de terrain



Couche 1. Couche physique

- Elle décrit les caractéristiques électriques, logiques et physiques de la connexion de la station au réseau, c'est à dire tout ce qui concerne les câbles, les connecteurs et les cartes réseau.
- Elle définit les aspects physiques du raccordement : interfaces mécanique et électrique et protocole d'échange des éléments binaires : caractéristiques physiques et électriques du support de transmission (paire torsadée...), méthode de transmission (bande de base…), débits et types de transmission (synchrone / asynchrone).

Couche 1. Couche physique

- En résumé : tout ce qui constitue le support physique qui assure le transport des données.
- **L'unité de données est le bit.**

Couche 2. Couche liaison

- Son rôle est de définir des règles pour l'émission et la réception de données à travers la connexion physique de deux systèmes :
  - Transmettre les données sans erreurs.
  - Déterminer la méthode d'accès au support de transmission.
- La couche liaison utilise des protocoles d'accès au support qui peuvent être déterministes ou probabilistes.

Couche 2. Couche liaison

- En résumé : contrôle la transmission des données afin de les transmettre sans erreur.
- **L'unité de données est la trame.**

Couche 3. Couche réseau

- Elle gère l'acheminement des données à travers le réseau en assurant le routage des paquets de données entre les nœuds du réseau. Si un nœud est surchargé ou hors service, les données seront alors routées vers un autre nœud.
- Elle assure l'opération d'adressage et de routage. Elle assure également le contrôle des flux au niveau des nœuds (engorgement, perte de paquets...).

Couche 3. Couche réseau

- En résumé : responsable de l'acheminement des données de manière à ce qu'elles arrivent à la bonne adresse.
- **L'unité de données est le paquet.**

Couche 4. Couche transport

- Elle est responsable du contrôle du transport de bout en bout à travers le réseau. Elle assure les fonctions d'adressage, de découpage et de réassemblage des données.
- La qualité de service (QoS) est souvent utilisée pour décrire l'utilité de la couche transport.
- La couche transport de l'émetteur fragmente les messages de données en paquets et la couche transport du récepteur reconstitue les messages en défragmentant les paquets dans le bon ordre.
- Elle permet également de multiplexer plusieurs flux d'informations sur le même support.

Couche 5. Couche session

- Première couche orientée traitement. Elle permet l'ouverture et la fermeture d'une session de travail entre deux systèmes distants.
- Elle a pour rôle la mise en place et le contrôle du dialogue entre les tâches distantes : connexion, gestion, déconnexion… Elle assure la synchronisation du dialogue entre les tâches distantes.

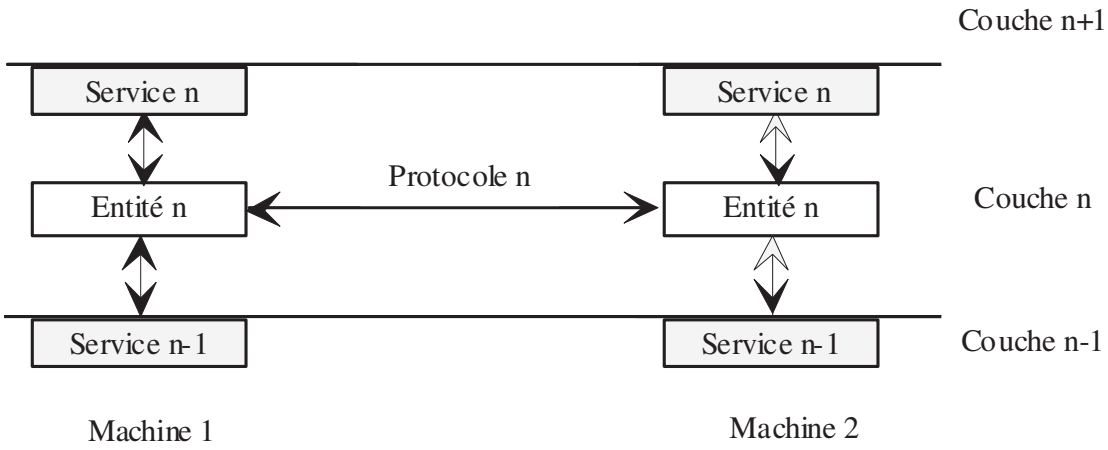
Couche 6. Couche présentation

- La couche présentation assure trois fonctions principales :
  - Le formatage des données (présentation).
  - Le chiffrement des données.
  - La compression des données.
- Permet de formater les données dans un format compréhensible par les 2 systèmes distants.

Couche 7. Couche application

- La couche application crée une interface directe avec le reste du modèle OSI par le biais d'applications réseau normalisées ou non : navigateur Web, messagerie électronique, ftp, telnet…) ou une interface indirecte par le biais d'applications autonomes (traitement de texte, tableurs…).

Service, entité, protocole



Service, entité, protocole

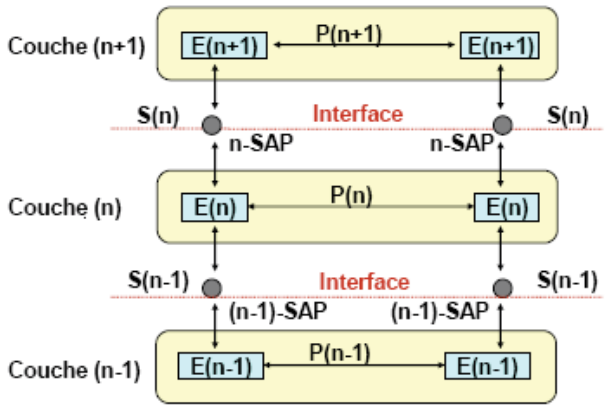
- Exemples de services :
  - Connexion.
  - Echange de données.
  - Déconnexion.

Service, entité, protocole

- Une demande de service se fait par le biais d'une primitive.
- 4 primitives de service sont définies pour permettre à un utilisateur du service de s'adresser à une entité ou à une entité de répondre à un utilisateur de service :
  - Primitive de demande : REQUEST.
  - Primitive d'indication : CONFIRM.
  - Primitive de réponse : INDICATION.
  - Primitives de confirmation : RESPONSE.

Service, entité, protocole

- Une entité de la couche n qui désire utiliser un service de la couche (n-1) par le biais d'une primitive doit préciser ce service.
- Elle le fait grâce à un identificateur unique appelé point d'accès au service n-SAP (*Service Access Point*).



Service, entité, protocole

- Jargon du modèle OSI :
  - n-SDU (*Service Data Unit*) : données de service de la couche n.
  - n-PCI (*Protocol Control Information*) : information de la couche n.
  - n-PDU (*Protocol Data Unit*) : unité de données de la couche n.

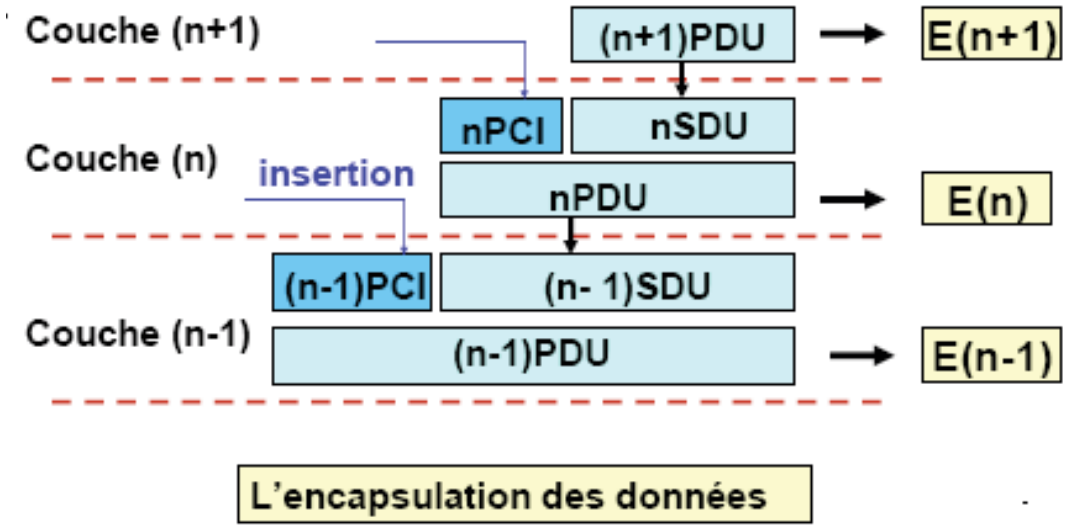
(n+1)-PDU = n-SDU
n-PDU = n-PCI + n-SDU
n-PDU = (n-1)-SDU

Service, entité, protocole

- Une des conséquence de cette structuration est :
  - L'encapsulation des données à l'émission.
  - La désencapsulation des données à la réception.

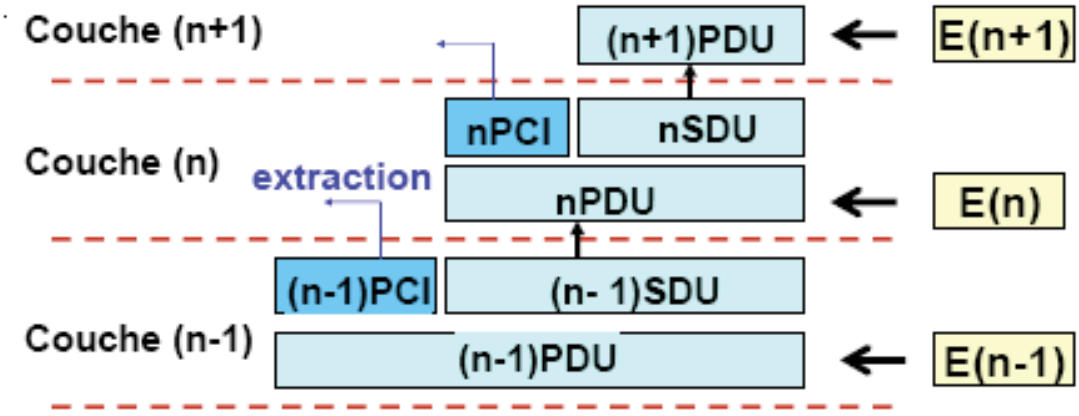
- Les données de contrôle d'un protocole ne doivent pas être trop volumineuses par rapport au données utiles : c'est le rendement du protocole !

Encapsulation des données



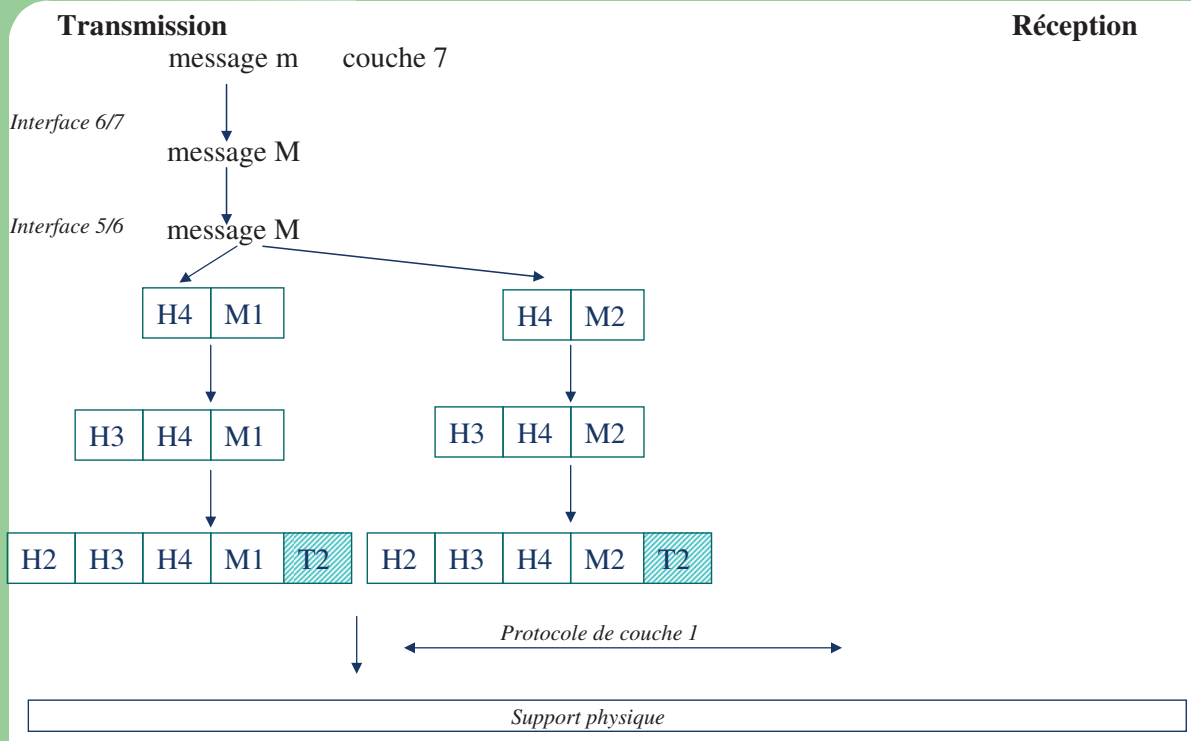
L'encapsulation des données

Désencapsulation des données

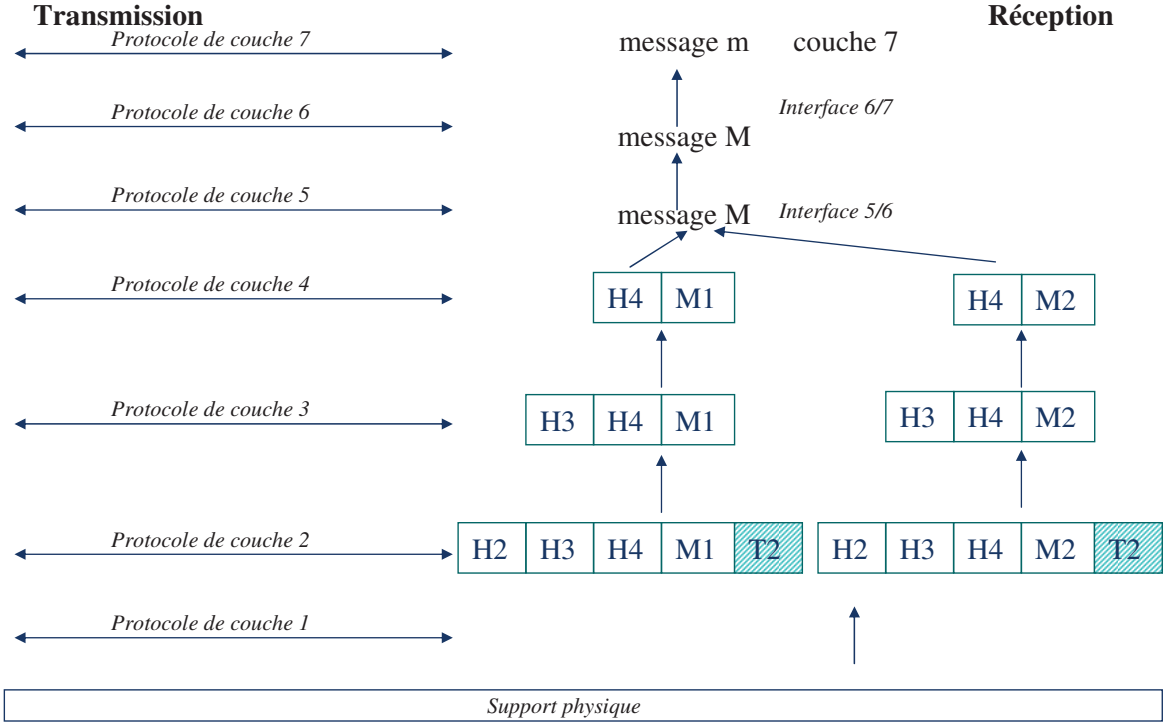


La décapsulation des données

Exemple de transmission de données



Exemple de transmission de données



PARTIE 6
LES NORMES ETHERNET IEEE 802.3

LES BASES : NORME 10BASE5

Historique

- Origine : système ALOHA exploité à Hawaï en 1970 basé sur la méthode d'accès CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*).

- Ethernet V1 (1976) : conçu et mis en œuvre par Xerox :
  - Débit : 3 Mb/s (*Experimental Ethernet*).
  - Médium : coaxial de 1000 m.
  - Nombre maximum de stations : 100.

- Ethernet V2 (1980) DIX (Digital - Intel - Xerox) :
  - Débit : 10 Mb/s.
  - Base de travail à la norme IEEE 802.3.

Historique de la norme IEEE 802.3

- 1985 : 10 Base 5 (802.3)
- 1988 : 10 Base 2 (802.3b)
- 1990 : 10 Base T (802.3i)
- 1993 : 10 Base F (802.3j)
- 1995 : 100 Base X (802.3u)
  100 Base VG (802.12)
- 1998 : 1000 Base LX, SX et CX (802.3z)
- 1999 : 1000 Base T (802.3ab)
- …

Introduction

- Cette partie est basée sur la norme de 1985 qui conditionne les évolutions d'Ethernet.
- Norme de 1985 (10Base5) : câble coaxial épais.
- Ethernet = réseau local.
- Ethernet est basé sur la méthode d 'accès CSMA/CD :
  - CSMA : *Carrier Sense Multiple Access* (accès multiple avec écoute de la porteuse).
  - CD : *Collision Detection* (détection de collision).

Introduction

- Ce qui est pris en charge :
  - Simple, faible coût.
  - Peu de fonctions optionnelles.
  - Pas de priorité.
  - On ne peut pas faire taire son voisin.
  - Débit : 10 Mb/s.

Introduction

- Ce qui n'est pas pris en charge :
  - Full duplex.
  - Contrôle d'erreur.
  - Sécurité et confidentialité.
  - Vitesse variable (auto-négociation).
  - Priorité.
  - Protection contre un utilisateur malveillant.
  - Déterminisme (capacité de borner en temps les transmissions de données).

Principes

- Support de transmission :
  - Segment = bus = câble coaxial.
  - Bus passif.
  - Pas de boucle, pas de sens de circulation.
  - Diffusion de l'information, écoute sélective.
  - Transmission en bande de base.

- Équipement raccordé sur ce câble par un *transceiver* :

  transmitter + *receiver* = *transceiver*

- Un équipement Ethernet a une adresse unique au monde (adresse Ethernet ou adresse MAC (*Media Access Control*).

Principes

- Sur le câble circulent des trames :
  - Suites d'éléments binaires.
  - À un instant donné, une seule trame circule sur le câble.
  - Pas de multiplexage en fréquence.
  - Pas de *full duplex*.
- La trame émise par un équipement est reçue par tous les *transceivers* du segment Ethernet.
- La trame contient l'adresse de l'émetteur et du destinataire.

Principes

- Un coupleur est à l'écoute de la totalité des trames qui circulent sur le câble :
  - Si une trame lui est destinée :
    - Adresse destinataire = sa propre adresse physique.
    - Il la prend, la traite et la délivre à la couche supérieure.
  - Sinon, le coupleur ne fait rien.

Principes

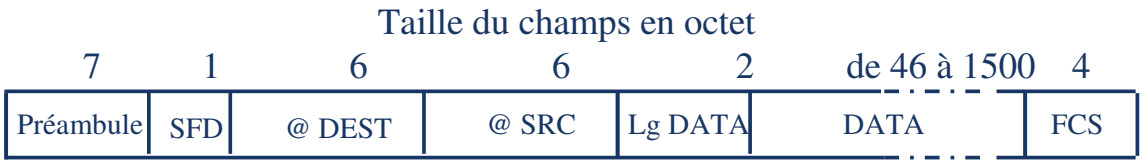
- Une station qui veut émettre :
  - Regarde si le câble est libre.
  - Si oui, elle envoie sa trame.
  - Si non, elle attend que le câble soit libre.

- Si 2 stations émettent ensemble, il y a collision :
  - Les 2 trames sont inexploitables.
  - Les 2 stations détectent la collision, elles ré-émettront leur trame ultérieurement.

Principes

- Ethernet est donc un réseau :
  - Probabiliste.
  - Sans chef.
  - Egalitaire.

Format d'une trame IEEE 802.3

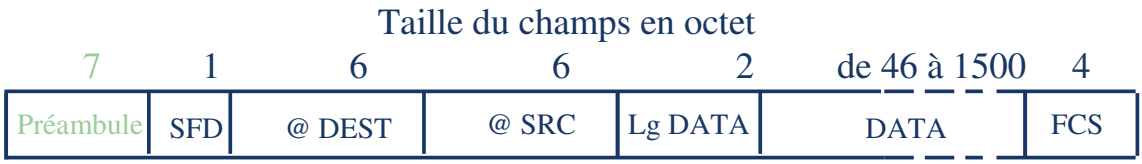


- Débit d'émission/réception : 10 Mb/s :
  - 10 bits par µs.
- Longueur des trames (avec préambule et SFD) :
  - 26 octets réservés au protocole.
  - Longueur minimale : **72 octets (64+8).**
  - Longueur maximale : **1526 octets (1518+8).**

Format d'une trame IEEE 802.3

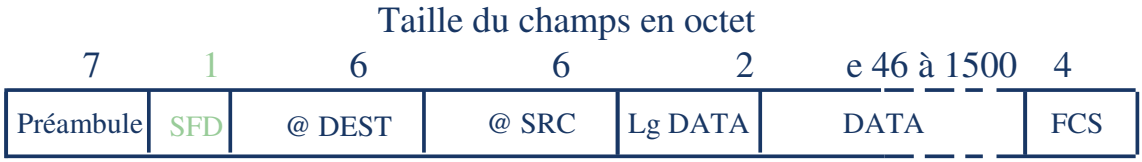
- Espace intertrame minimal de 9.6 µs :
  - Espace intertrame = 96 bits time soit 12 octets.
  - Utilisation du réseau dans un délai relativement faible.
  - Une machine ne peut pas émettre toutes ses trames en même temps : seulement les unes à la suite des autres.
- Cet espace intertrame permet :
  - Aux circuits électroniques de récupérer l'état de repos du médium.
  - Aux autres machines de reprendre la main à ce moment là.

Trame IEEE 802.3 : préambule



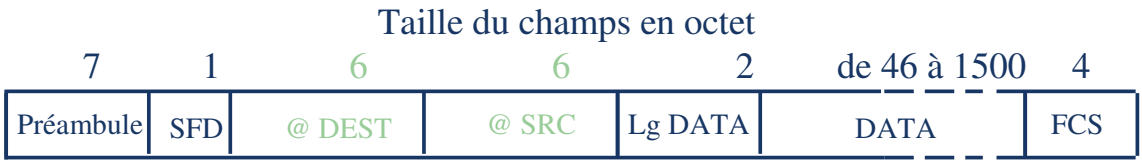
- Taille : 7 octets identiques (10101010). Simple suite continue de bit à 0 et de bit à 1.
- Assez long pour servir à la synchronisation des PLL.
- Pas de fin de trame (pas d'échappement).

Trame IEEE 802.3 : SFD



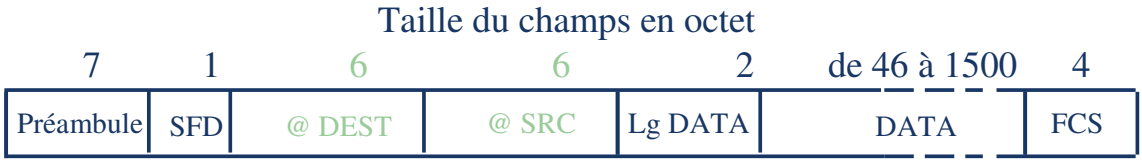
- SFD : *Start Frame Delimitor.*
- Marque le début de la trame.
- Taille : 1 octet.
- SFD = 10101011

Trame IEEE 802.3 : adresses



- Détails dans la RFC 1700.
- Adresse IEEE 802.3 ou Ethernet : 48 bits (6 octets).
  - Syntaxe : 08:00:20:05:B3:A7 ou 08:00:20:05:B3:A7
    - Cisco 00:00:0C:XX:XX:XX Sun 08:00:20:XX:XX:XX
    - HP 08:00:09:XX:XX:XX

Trame IEEE 802.3 : adresses



- L'adresse destinataire peut donc représenter :
  - L'adresse physique d'une machine locale.
  - Toutes les machines du réseau local (*broadcast*).
- L'adresse source représente seulement :
  - L'adresse physique de la station émettrice.

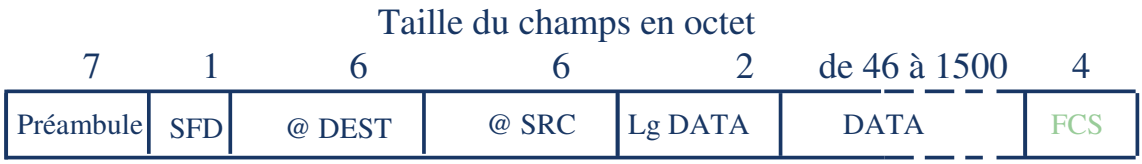
Trame IEEE 802.3 : longueur

- Taille : 2 octets (valeur ≤ 1500).
- Donne le nombre d'octets utilisé par les données dans l trame.
- *Padding* : Ajout d'octets sans signification pour envoyer moins de 46 octets de données.
- Longueur minimale de la trame : **72 octets (64+8).**

Trame Ethernet : type données

- Type de données transportées : 2 octets.

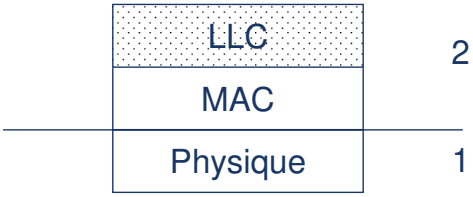
Trame IEEE 802.3 : FCS



- FCS : *Frame Check Sequence*.
- Contrôle à la réception de la trame par calcul :
  - Code de Redondance Cyclique (CRC) calculé sur les champs destination, source, longueur et données.
- Taille de 4 octets.

Sous couche MAC : transmission

- La sous couche MAC :
  - Ajoute préambule, SFD, padding si nécessaire.
  - Assemble les champs : @source, @destinataire, taille, données et padding.
  - Calcule le FCS et l'ajoute à la trame.
  - Transmet la trame à la couche physique :
    - Si "écoute porteuse" faux depuis 9.6 µs au moins, la transmission s'effectue.



MAC : *Media Access Control*
LLC : *Logical Link Control*

Sous couche MAC : réception

- La sous couche MAC :
  - Reçoit les bits qui circulent sur le câble.
  - Les limites des trames sont indiquées par le signal "écoute porteuse" .
  - Ote le préambule et le SFD.
  - Analyse l'adresse du destinataire dans la trame.

- Si l'adresse de destination de la trame est différente de l'adresse de la station alors poubelle.

Sous couche MAC : réception

- Si l'adresse destination est la station :
  - Elle découpe la suite de bits reçus en octet, puis en champs.
  - Transmet à la sous couche LLC les champs :
    - @destination, @source, taille et données .
  - Calcule le FCS et indique une erreur à la couche LLC si :
    - FCS incorrect.
    - **Trame trop grande : > 1526 octets.**
    - **Trame trop petite : < 72 octets.**
    - Longueur de la trame n'est pas un nombre entier d'octets (erreur d'alignement).

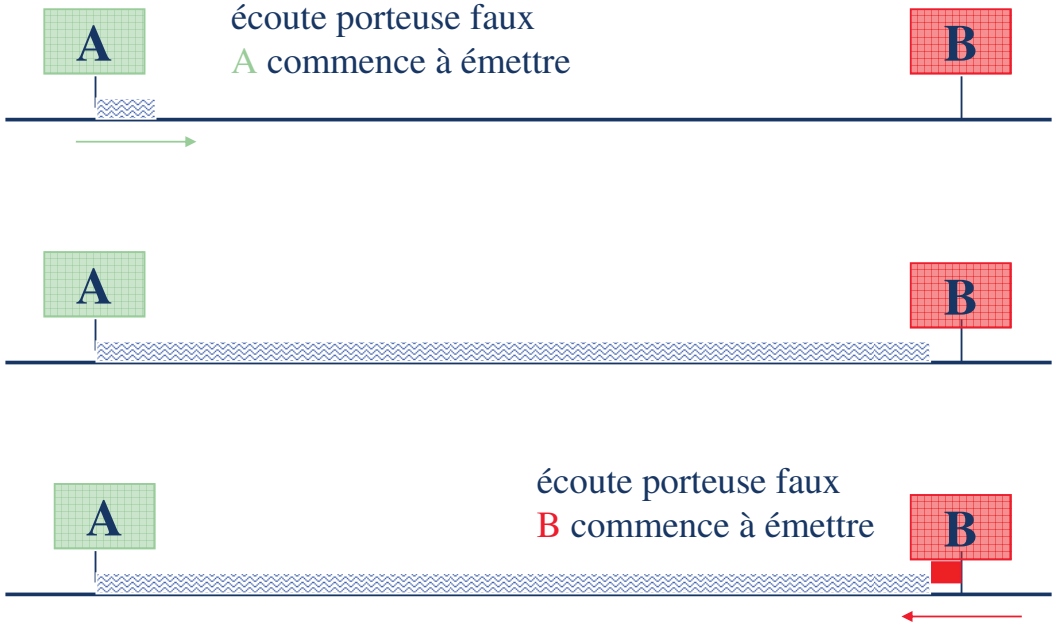
Couche physique

- Fonctions de la couche physique :
  - Permet de recevoir et d'émettre des suites d'éléments binaires.
  - Détecte la transmission par une autre station :
    - Pendant que la station n'émet pas : signal "écoute porteuse".
    - Pendant que la station émet : signal "détection de collision".

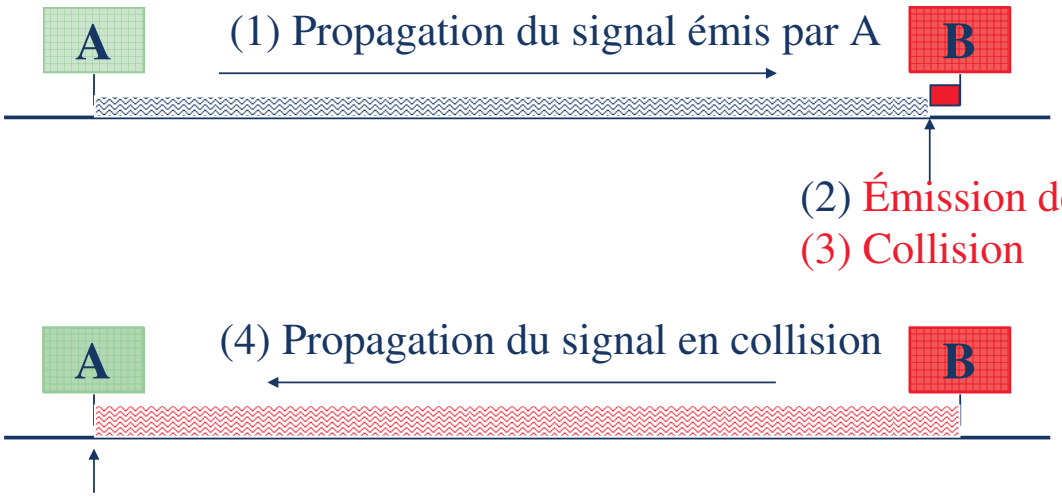
Collisions : problématique

- Une station regarde si le câble est libre avant d'émettre (signal "écoute porteuse").
- Mais le délai de propagation d'une trame sur le réseau n'est pas nul : une station peut émettre alors qu'une autre a déjà commencé à émettre.
- Quand ces 2 trames émises presque simultanément se « croisent », il y a collision.

Collision : exemple



Collision : exemple



(5) Réception du signal en collision par A
(6) Arrêt d'émission de A

Temps maximum écoulé = Aller + Retour ≈ 50 µs ≈ temps d'émission de 63 octets

Collision : solutions

- Temps aller/retour = RTD (*Round Trip Delay)* fixé à 50 µs ≈ 63 octets.
- On fixe un *Slot Time* = 51.2 µs (64 octets) : une collision ne peut se produire que durant le *Slot Time*.
  - La station émettrice ne peut pas se déconnecter avant la fin du *Slot Time* pour avoir la certitude que la transmission se soit passée sans collision.
- Pour respecter la valeur RTD, on impose des limitations :
  - Longueur entre stations les plus distantes.
  - Nombre de segments.

Collision : détection

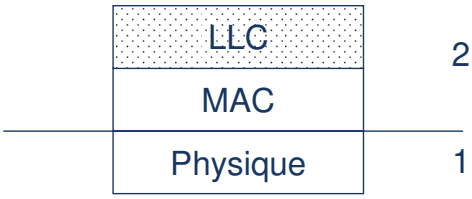
- Émetteur :
  - Émet au minimum après 9.6 µs d'intertrame.
  - Écoute le signal "détection de collision" pendant le *Slot Time* de 51.2 µs (64 octets) à partir du début d'émission.
  - S'arrête d'émettre quand il détecte une collision.
  - Longueur maximale trame erronée : 64 octets (**longueur minimale trame correcte : 72 octets**).
- Récepteur :
  - **Si réception d'une trame < 72 octets alors collision.**
- **Toute trame reçue de longueur < 72 octets est rejetée.**

Collision : réémission

- La station attend = R x 51,2 µs = R x *Slot Time*, R entier.
- Elle émet à nouveau, 15 réémissions maximum.
- Si la 15ème réémission échoue, la station est déconnectée.

Différences entre 802.3 et Ethernet

- Ethernet :
  - Pas de sous couche LLC.



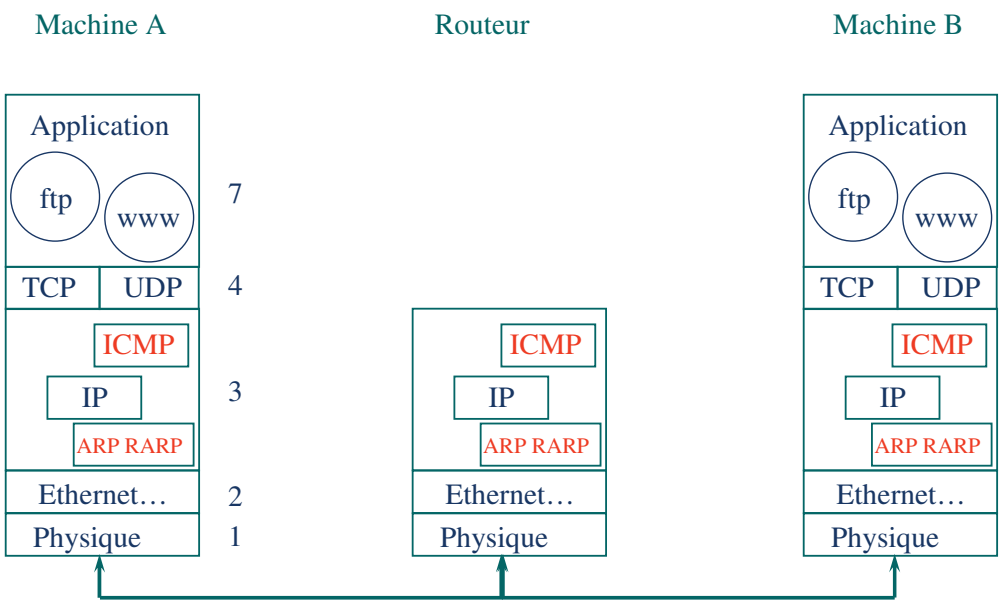
- Champ Type des trames Ethernet :
  - 2 octets.
  - Champs Type définis (protocole de niveau 3 utilisé) :
    - 0x0800 : IP.
    - 0x0806 : ARP.

Conclusion

- Ethernet/IEEE 802.3 est une technologie éprouvée.
- C'est le protocole de réseau local de loin le plus répandu.
- Les problèmes qui restent sont connus :
  - Sécurité.
  - Confidentialité.
  - Priorité.

PARTIE 7
LES PROTOCOLES D'INTERNET

Protocoles Internet et modèle OSI



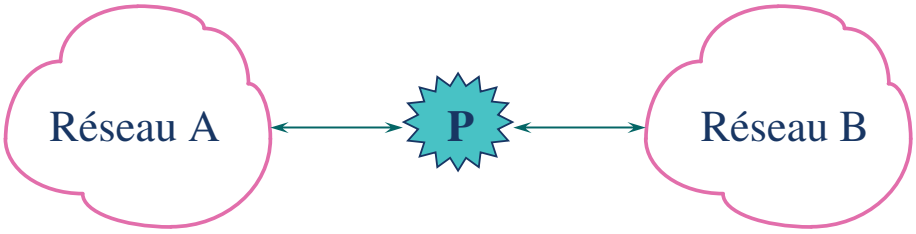
Protocoles Internet et modèle OSI

- Chaque machine aux extrémités implémente la pile complète de protocoles TCP/UDP/IP.
- Les protocoles ICMP, ARP et RARP sont des protocoles de gestion du bon fonctionnement du réseau Internet.
- Un routeur n'implémente qu'IP et est transparent aux données échangées par l'utilisateur.
- Les données sont donc traitées aux extrémités à l'émission et à la réception.

Interconnexion

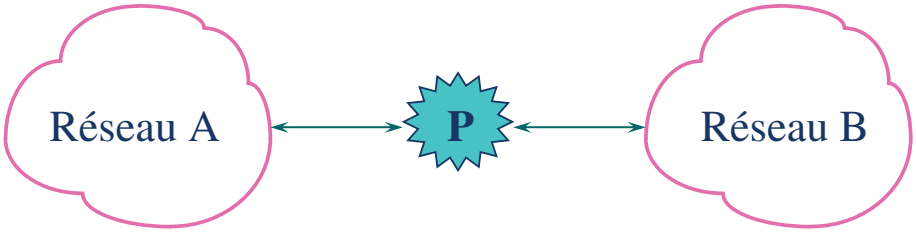
- L'interconnexion permet de faire transiter des informations depuis un réseau vers un autre réseau par des nœuds spécialisés appelés passerelles (*gateway*) ou routeurs (*router*).

- Les passerelles/routeurs possèdent une connexion sur chacun des réseaux.



Interconnexion

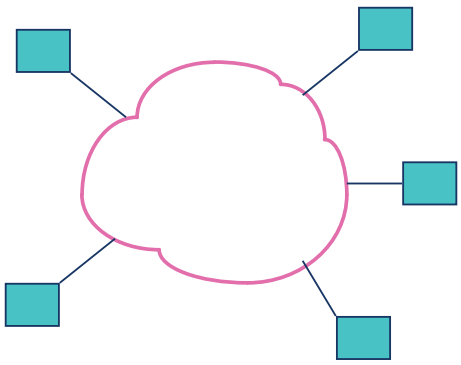
- Le rôle de la passerelle/routeur est de transférer sur le réseau B les données circulant sur le réseau A et destinées au réseau B et inversement.



Interconnexion

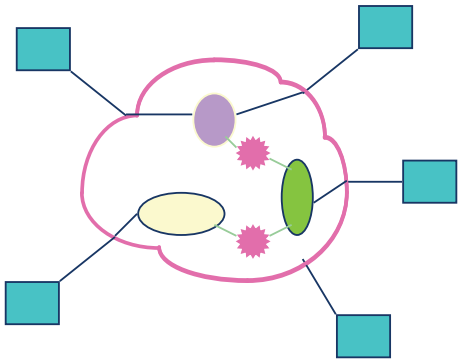
- P1 transfère sur le réseau B les données circulant sur le réseau A et destinées aux réseaux B et C.
- P1 doit avoir connaissance de la topologie du réseau à savoir que C est accessible depuis le réseau B.
- Le routage n'est pas effectué sur la base de la machine destinataire mais sur la base du réseau destinataire.

Interconnexion



Vue de l'utilisateur du réseau Internet

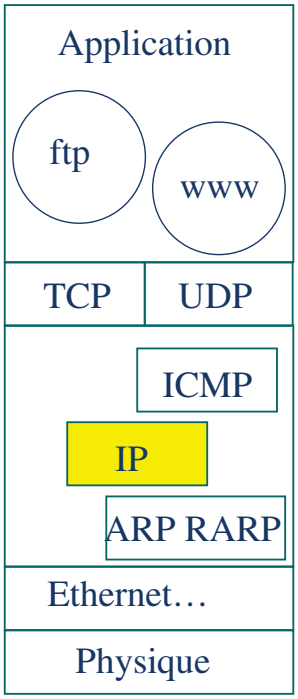
Interconnexion



Vue réelle du réseau Internet

Services d'Internet

- Interopérabilité au niveau des applications.
- Les utilisateurs invoquent les applications Internet sans avoir besoin de connaître les technologies d'Internet ni son architecture.
- Quelques services populaires :
  - Courrier électronique : smtp.
  - Transfert de fichiers : tfp, tftp.
  - Web : www.
  - Accès à des machines distantes : telnet, ssh.
  - …



Protocole IP

- IP pour *Internet Protocol* (RFC 791).
- IP correspond au niveau 3 du modèle OSI.
- IP est au dessus de tout. C'est un protocole de convergence. Il fonctionne sur tout :
  - Ethernet : RFC 894.
  - ATM (*Asynchronous Transfer Protocol*) : RFC 1483, RFC 1577.
  - Liaison série RS232 : SLIP (RFC 1055), PPP (RFC 1353).
  - …
- IP est un protocole sans connexion et non fiable vis-à-vis des données transportées.

Adressage IP

- L'adressage IP fournit un service de communication universel permettant à toute machine de communiquer avec toute autre machine.
- Une machine doit être accessible par d'autres machines.
- Une machine doit pouvoir être identifiée par :
  - Un nom symbolique (www.enseirb-matmeca.fr).
  - Une adresse qui doit être un identificateur universel de la machine.
  - Une route précisant comment la machine peut être atteinte.

Adressage IP

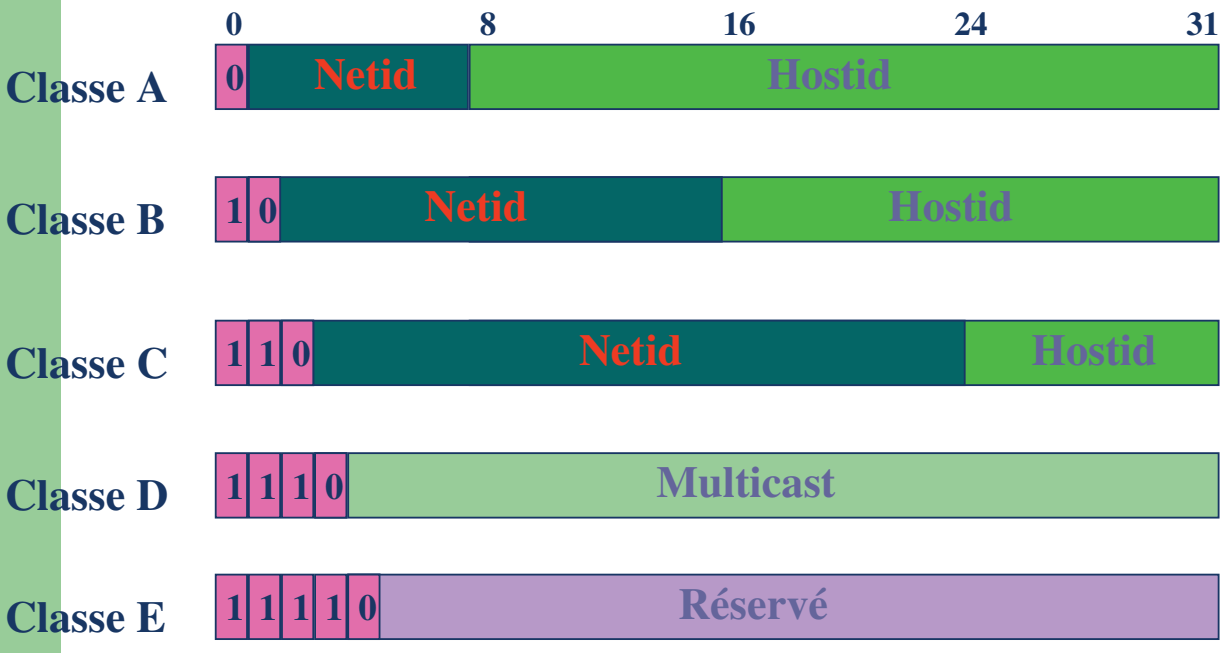
- La solution est un adressage binaire compact assurant un routage efficace (32 bits).
- Adressage à plat par opposition à un adressage hiérarchisé comme avec le Réseau Téléphonique Commuté (RTC).
- Utilisation de noms symboliques pour identifier de façon humaine les machines (*Domain Name Service*).

Adressage IP

- Une adresse IP :
  - 4 octets (32 bits) ou *IP address*.
  - Constituée d'une paire (*netid* N, *hostid* H) où *netid* identifie un réseau et *hostid* identifie une machine de ce réseau.
  - Cette paire est structurée de manière à définir cinq classes d'adresses.
  - Notation en décimal pointé A.B.C.D.

- Elle doit être unique au monde (comme un numéro de téléphone RTC) :
  - Configurée par logiciel.
  - Associée à l'interface réseau.

Adressage IP



Adressage IP

- Classification :
  - Classe A : N.H.H.H
  - Classe B : N.N.H.H
  - Classe C : N.N.N.H
  - Classe D : multicast. Visioconférence.
  - Classe E : réservé. C'est une plage d'adresses perdue !

- Attribution des adresses IP en France :
  - Classe A et B par le NIC (*Network Information Center*).
  - Classe C par le NIC et Renater.

Adressage IP : classe A

- 7 bits pour le numéro de réseau *netid* N :
  - 1.0.0.0 à 126.0.0.0

- 24 bits pour le *hostid* H de la machine :
  - Environ 254^3 machines possibles sur un réseau de classe A.

- En France, il n'y a pas de réseaux de classe A :
  - 16.0.0.0 : MIT.

Adressage IP : classe B

- 16 bits pour le numéro de réseau *netid* N :
  - 128.1.0.0 à 191.255.0.0
- 16 bits pour le *hostid* H de la machine :
  - Environ 254^2 machines possibles sur un réseau de classe B.
- Quasiment épuisé en France !

Adressage IP : classe C

- 24 bits pour le numéro de réseau *netid* N :
  - 192.0.1.0 à 223.255.255.0
- 8 bits pour le *hostid* H de la machine :
  - 254 machines possibles sur un réseau de classe C.

Adressage IP : classe D

- Adresse de *multicast* pour une liaison point à multipoint : un émetteur et plusieurs récepteurs :
  - 224 à 231.
- Il n'y a pas de structuration car utilisé de façon ponctuelle sans organisation gérant la structuration.

Adressage IP : classe E

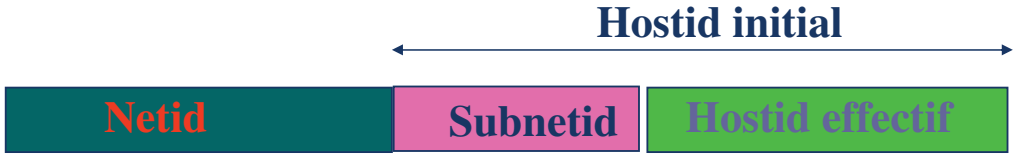
- Réservé pour un usage futur :
  - 239 à 254.
- Il n'y a pas de structuration car utilisé de façon ponctuelle sans organisation gérant la structuration.

Adressage IP

- Adresses particulières :
  - Soi-même : 127.0.0.1 : *loopback* ou *localhost*.
  - Tous les bits à 0 pour le *hostid* : le réseau lui-même :
    - 130.190.0.0 désigne le réseau 130.190
  - Tous les bits à 1 pour le *hostid* : toutes les machines du réseau : diffusion ou *broadcast* :
    - 130.190.255.255
  - Une machine ne connaît pas son adresse IP (pas de disque dur). On utilisera RARP :
    - 0.0.0.0

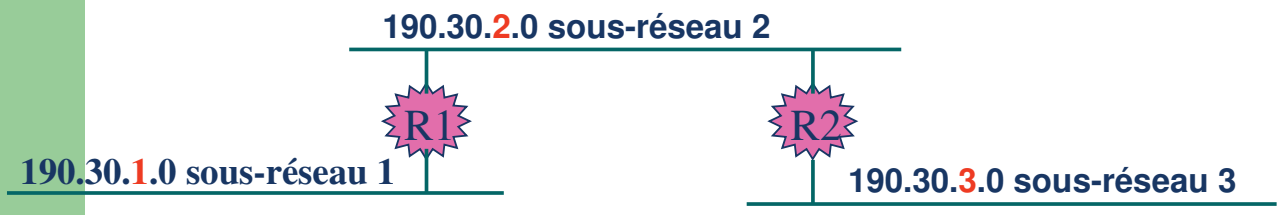
Sous-réseau IP

- Découpage d'un réseau en entités plus petites :
  - Sous-réseau ou *subnet*.
  - Permet une meilleure structuration d'un site.
  - C'est décidé par l'administrateur réseau.
  - L'adresse de sous-réseau est prélevée sur la partie *hostid*.
  - La longueur est donnée en bits par l'administrateur.
  - Tous les équipements doivent intégrer la notion de sous-réseau.
  - L'interconnexion de sous-réseaux se fait par un routeur.



Sous-réseau IP

- Exemple de découpage en 3 sous-réseaux avec numérotation par le 3ème octet :



- 190.30.0.0 est l'adresse réseau du site seule connue de l'extérieur.

Sous-réseau IP

- Le découpage en sous-réseaux est inconnu de l'extérieur.

- L'identification d'un sous-réseau passe par un *subnet mask* :
  - Bits *netid* à 1.
  - Bits *subnetid* à 1.
  - Bits *hostid* effectif à 0.
  - Exemple : réseau de classe B 130.190.0.0 :
    - *Subnet mask* par défaut : 255.255.0.0
    - Si un octet (octet 3) pour *subnetid*, le *subnet mask* est 255.255.255.0

Sous-réseau IP

- Exemple de l'ENSEIRB-MATMECA :
  - Adresse réseau de l'université de Bordeaux, sciences : 147.210.0.0 : réseau de classe B. 65536-2 machines publiques au plus.
  - 147.210.0.0 à 147.210.255.255 (147.210.0.0 est le réseau UB1, 147.210.255.255 est le *broadcast*).

- L'ENSEIRB-MATMECA a une plage d'adresse contigüe à partir de 147.210.18.0 pour 512-2 machines publiques au plus :
  - 147.210.18.0 à 147.210.19.255 (147.210.18.0 est le sous-réseau ENSEIRB- MATMECA d'UB1, 147.210.19.255 est le *broadcast* ENSEIRB-MATMECA).

Sous-réseau IP

- Pour 512-2 machines publiques au plus, le *hostid* effectif est sur 9 bits. Donc pour le *subnet mask*, on a :
  - 16 bits *netid* à 1.
  - 7 bits *subnetid* à 1.
  - 9 bits *hostid* effectif à 0.
  - 11111111.11111111.11111110.00000000 soit un *subnet mask* de 255.255.254.0 pour l'ENSEIRB-MATMECA.

Fonctions d'IP

- IP permet le transport de bout en bout de datagrammes IP.
- Chaque datagramme IP contient :
  - L'adresse IP de l'expéditeur.
  - L'adresse IP du destinataire.
  - Chaque contrôleur réseau possède son adresse IP :
    - Commande : `% ifconfig`
- Il faut donc connaître l'adresse IP d'une machine pour communiquer avec elle.

Fonctions d'IP

- IP est un mode non connecté. Chaque datagramme IP est traité indépendamment des autres.
- IP est un mode non fiable sans garantie de bonne réception des datagrammes IP. C'est un mode au mieux (*best effort*).
- IP assure la routage des datagrammes IP : savoir où envoyer chaque datagramme IP reçu. Les algorithmes de routage sont donc importants dans un réseau IP (non abordé en détail ici)…

Fonctions d'IP

- Le routage est le processus permettant à un datagramme IP d'être acheminé vers le destinataire lorsque celui-ci n'est pas sur le même réseau physique que l'émetteur.
- Le chemin parcouru est le résultat du processus de routage qui effectue les choix nécessaires afin d'acheminer le datagramme.
- Les routeurs forment une structure coopérative de telle manière qu'un datagramme IP transite de routeur en routeur jusqu'à ce que l'un d'entre eux le délivre à son destinataire.
- Un routeur possède deux ou plusieurs connexions réseau tandis qu'une machine possède généralement qu'une seule connexion.

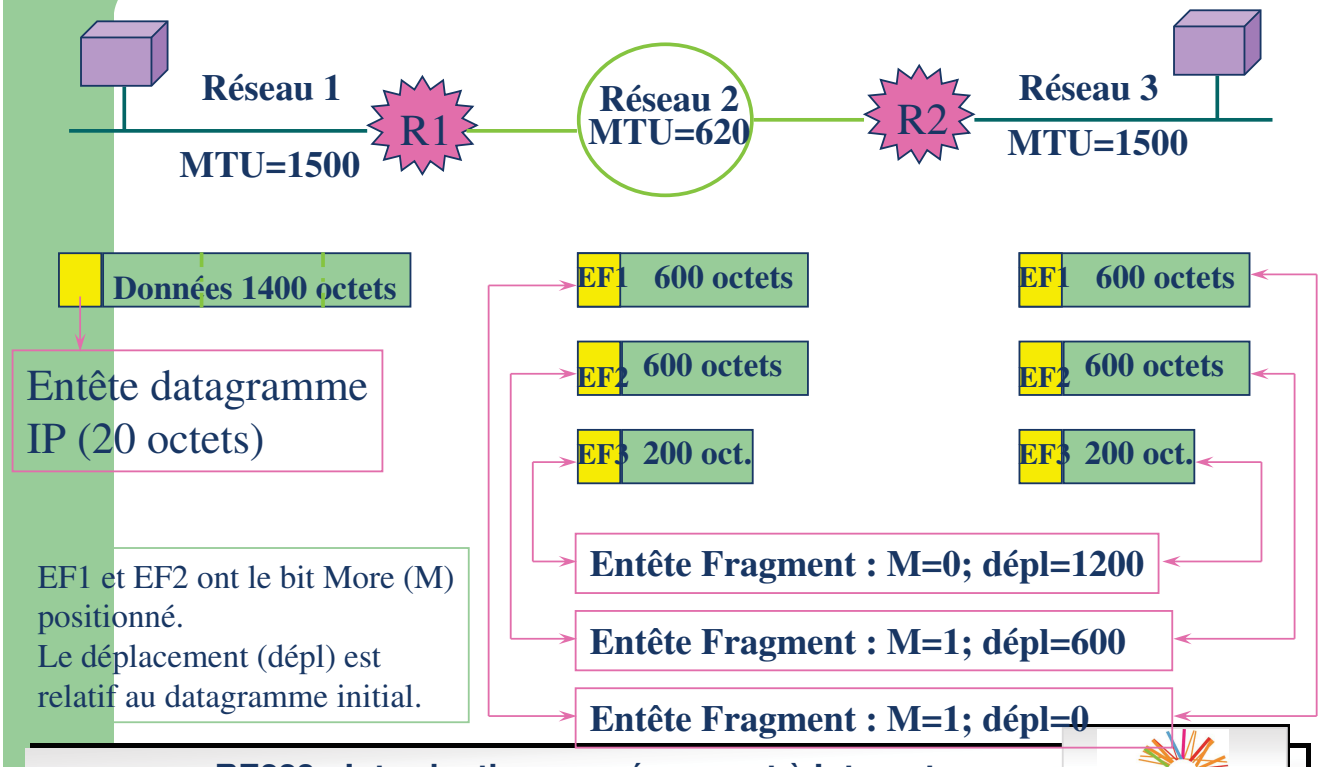
Fonctions d'IP

- Les tables de routage IP donnent seulement les adresses réseau et non pas les adresses de machines.
- Une table de routage contient des couples (R, P) où R est l'adresse IP d'un Réseau destination et où P est l'adresse IP de la Passerelle correspondant au prochain saut dans le cheminement vers le réseau destinataire.
- La passerelle ne connaît pas le chemin complet pour atteindre la destination.

Fonctions d'IP

- IP gère la fragmentation.
- Un réseau avec un medium particulier qui véhicule des datagrammes IP possède un MTU (*Maximum Transfer Unit*). Le MTU pour Ethernet est de 1500+18 octets par exemple.
- C'est la machine destinataire qui réassemble les fragments générés dans le réseau.

Fonctions d'IP



Fonctions d'IP

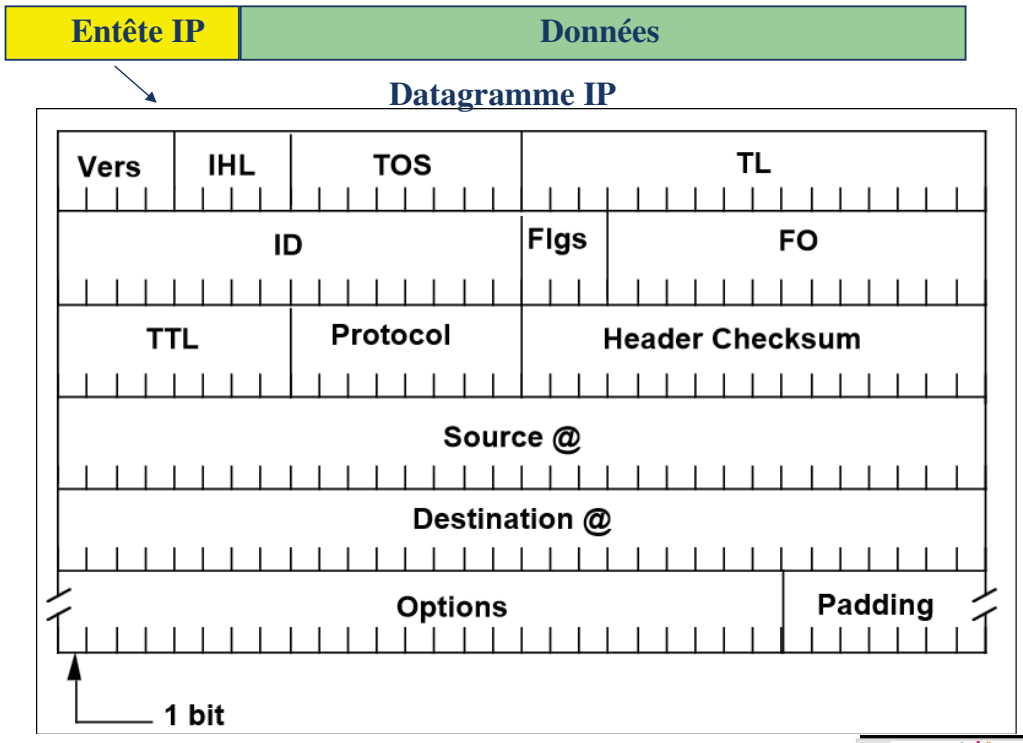
- IP ne gère pas :
  - Le multiplexage de transferts de données.
  - La vérification du séquencement des datagrammes IP reçus.
  - La détection de pertes de datagrammes IP.
  - La retransmission en cas d'erreurs.
  - Le contrôle de flux (asservissement de l'extrémité la plus rapide à l'extrémité adjacente la plus lente).

Datagramme IP

- Un datagramme possède :
  - Une entête de 20 octets.
  - Des données.

Datagramme IP

Datagramme IP



Datagramme IP

- Vers : version du protocole. Actuellement 4 pour IPv4.
- IHL : *Internet Header Length* :
  - Taille de l'entête IP en multiple de 4 octets. Ici 5.
  - Une entête d'un datagramme IP commence donc par la valeur 0x45 !
- TOS : *Type Of Service* :
  - Définition d'un qualité de service QoS (*Quality of Service*).
  - Utilisé pour la Voix sur IP (VoIP).
  - QoS comme : *low delay*, *high troughput*…

Datagramme IP

- TL : *Total Length* :
  - Longueur totale du datagramme IP en octets.
  - Au plus 64 Ko.
  - Limité par le MTU.

- TTL : *Time To Live* :
  - Durée de vie d'un datagramme IP en nombre de sauts.
  - Décrémenté de 1 à chaque routeur traversé.
  - Si TTL=0 alors le datagramme IP est détruit.
  - Evite les datagrammes IP fantômes dans des boucles de routage..

Datagramme IP

- *Protocol* :
  - Identifie le type des données transportées c'est-à-dire les données du niveau supérieur.
  - 6 : TCP.
  - 17 : UDP.
  - 1 : ICMP.

- Démultiplexage en réception du datagramme IP et traitement par l'entité supérieure (TCP, UDP, ICMP…).

Datagramme IP

- Champs liés à la fragmentation IP :
  - ID : identification du datagramme IP :
    - Numérotation faite par l'émetteur pour identifier les fragments d'un même datagramme.
  - *Flags* :
    - 001 : il y a encore des fragments.
    - 000 : dernier fragment du datagramme IP.
    - …
  - FO : *Fragment Offset* :
    - Position du fragment dans le datagramme IP fragmenté en unité de 8 octets.
    - Premier fragment = 0.
    - Le destinataire doit récupérer tous les fragments pour reconstruire le datagramme. Si un fragment manque, tout le datagramme IP est jeté.

Datagramme IP

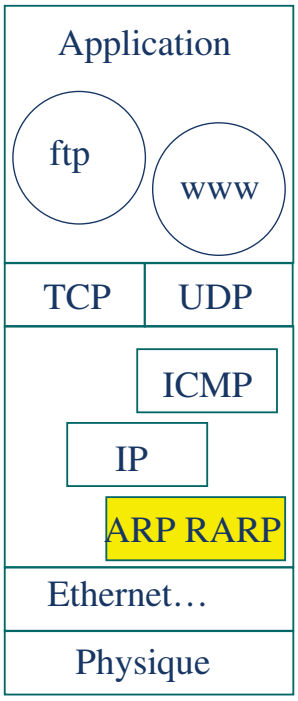
- @ source : adresse IP de l'expéditeur.
- @ destination : adresse IP du destinataire.
- Ce sont les adresses IP des 2 machines distantes qui échangent des données.

Datagramme IP

- Options :
  - Variable en taille.
  - Pour des extensions futures.
  - En pratique, pas mis en œuvre.

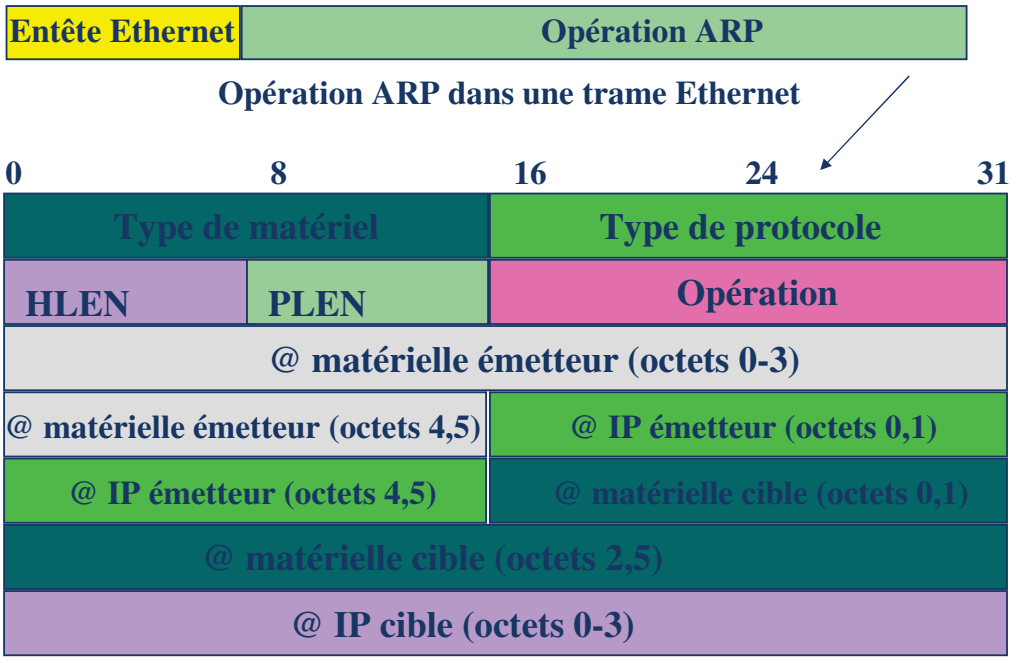
- *Padding* :
  - Complète le champ Options pour avoir un multiple de 32 bits.

- *Header Checksum* :
  - Protection contre les erreurs de transmission. Calculé sur l'entête uniquement. Pourquoi change-t-il de valeur à chaque routeur traversé ?



ARP

- ARP pour *Address Resolution Protocol* (RFC 826).



ARP

- Type de matériel = 1 pour Ethernet
- Type de protocole = 0x0800 pour IP
- HLEN = 6 octets pour Ethernet
- PLEN = 4 octets pour IP
- Opération = :
  - 1 (requête ARP).
  - 2 (réponse ARP).
  - 3 (requête RARP).
  - 4 (réponse RARP).

ARP

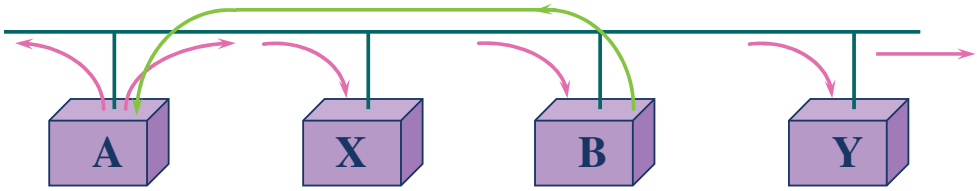
- ARP permet de trouver l'adresse matérielle (adresse physique ou adresse MAC (*Media Access Control*) d'une machine d'un réseau local en fonction de son adresse IP.
- L'adresse IP est indépendante de l'adresse matérielle.
- Le couple (adresse physique, adresse IP) est stocké dans une table (cache) que l'on peut consulter via la commande :
  - `% arp -a`

ARP

- Une machine A veut envoyer un datagramme IP à une machine B sur un réseau Ethernet.
- Elle connaît son adresse IP mais pas son adresse physique ou adresse Ethernet ici.

ARP

- A envoie une trame Ethernet de *broadcast* embarquant une requête ARP qui demande l'adresse Ethernet de B.
  - Adresse destinataire FF:FF:FF:FF:FF:FF en indiquant l'adresse IP de B.
  - Toutes les machines reçoivent la requête.
  - Seule B répond par une réponse ARP avec son adresse Ethernet.

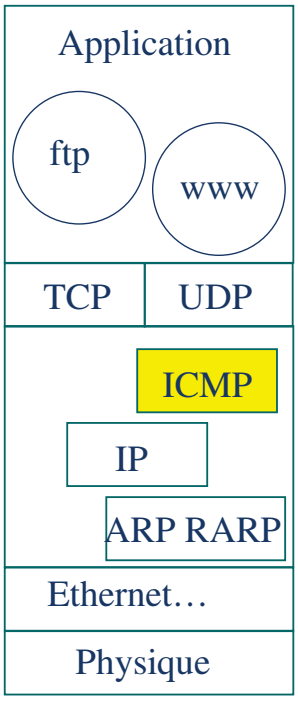


ARP

- Pour communiquer avec une machine, on a donc besoin jusqu'à présent :
  - @ IP source, @ IP destination.
  - @ physique source, @ physique destination.
  - Soit 2 couples de valeurs…
  - Est-ce suffisant ?

RARP

- RARP pour *Reverse Address Resolution Protocol* (RFC 903).
- Il s'agit de récupérer l'adresse IP en fonction de l'adresse physique.
- RARP est utilisé au démarrage de certains équipements :
  - Station sans disque dur.
  - Système embarqué.
- Le format d'une requête RARP est le même que celui d'ARP.



ICMP

- ICMP pour *Internet Control Message Protocol* (RFC 792).
- ICMP est un protocole de gestion du réseau IP.
- Il est implanté dans tous les équipements, routeurs inclus.
- Un message ICMP est envoyé soit par un équipement destinataire ou soit par un routeur quand :
  - Il s'aperçoit d'un problème dans un datagramme IP.
  - Il y a un problème de réseau (changement d'une table de routage).

ICMP

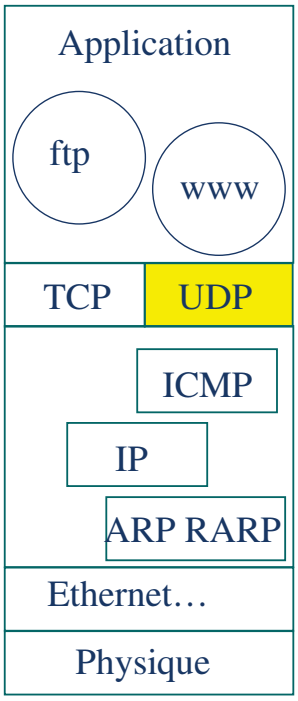
- Un message ICMP ne peut pas engendrer un autre message ICMP. Il ne demande aucune réponse.
- Un message ICMP est contenu dans un datagramme IP (champ *Protocol* égal à 1 dans l'entête IP).
- Un message ICMP possède 3 champs communs : TYPE, CODE, CHECKSUM

Message ICMP dans un datagramme IP

ICMP

- TYPE : 1 octet. Type de message.
- CODE : 1 octet. Informations complémentaires.
- CHECKSUM : 2 octets. Contrôle.

TYPE	Message ICMP	TYPE	Message ICMP
0	Echo Reply	13	Timestamp Request
3	Destination Unreachable	14	Timestamp Reply
4	Source Quench	15	Information Request (obsolete)
5	Redirect (change a route)	16	Information Reply (obsolète)
8	Echo Request	17	Address Mask Request
11	Time Exceeded (TTL)	18	Address Mask Reply
12	Parameter Problem with a Datagram		



Couche transport

- Il existe 2 protocoles de transport pour l'échange de données entre 2 machines :
  - TCP : *Transport Control Protocol*
    - Protocole en mode connecté et fiable.
  - UDP : *User Datagram Protocol*
    - Protocole en mode non connecté et non fiable.

Couche transport

- Dans les 2 cas, une application informatique est identifiée par un identificateur unique appelé port (entier sur 16 bits).
- Un numéro de port identifie l'application locale et un numéro de port identifie l'application distante.
- On appelle *socket* le couple de valeurs (@ IP, numéro de port) :
  - (147.210.18.10, 23) = application serveur telnet sur la machine distante 147.210.18.10.
- La combinaison de 2 *sockets* identifie complètement l'échange de données UDP ou TCP entre 2 applications distantes.

Couche transport

- Combinaison de 2 *sockets* :
  - (147.210.18.10, 32420) vers (147.210.19.62, 80).
  - Echange de données vers le serveur Web de l'ENSEIRB-MATMECA.

- Il existe des numéros de port réservés (*well-known port*) :

7	ECHO	Echo
13	DAYTIME	Daytime
21	FTP	File transfert protocol control
69	TFTP	Trivial File transfert protocol
80	WWW	World Wide Web
…		

Couche transport

- Le mode d'échange de données est du type client/serveur :
  - Le client se voit attribuer un numéro de port non affecté élevé (32000…).
  - Le serveur a un numéro de port *well-known*.

- Les numéros de port réservés sont définis dans le fichier `/etc/services`.

- Sous Windows, la configuration réseau IP est « empruntée » à celle d'UNIX :

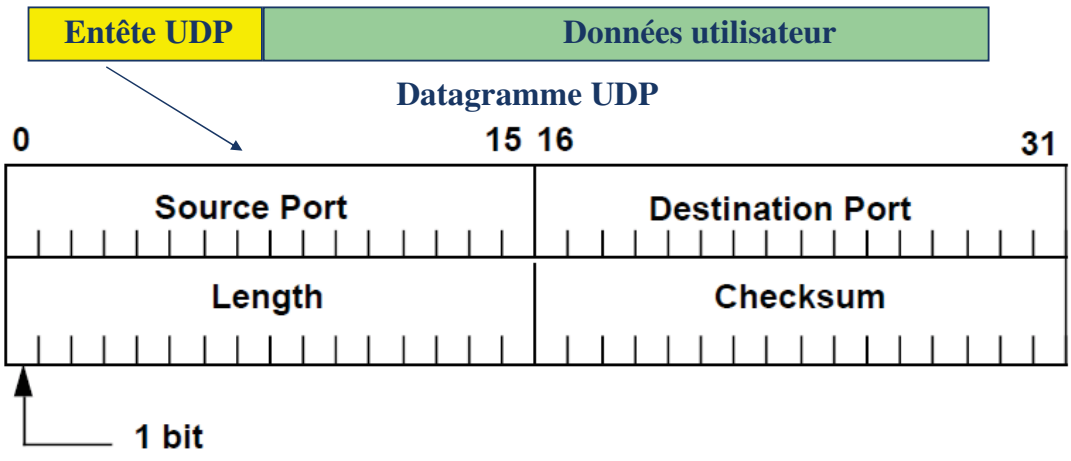
  `C:\Windows\System32\drivers\etc\services`

Couche transport

- Pour communiquer avec une machine, on a donc besoin :
  - @ IP source, @ **IP destination**.
  - @ physique source, @ **physique destination**.
  - Port source, **port destination**.
  - Soit 3 couples de valeurs…
- Sur ces 6 valeurs, seules les 3 valeurs destination seront à renseigner, les 3 valeurs source étant renseignées par l'API de programmation réseau…

UDP

- UDP pour *User Datagram Protocol* (RFC 768).
- UDP est un mode de transport sans connexion, non fiable et sans garantie qui utilise IP pour le transport.



UDP

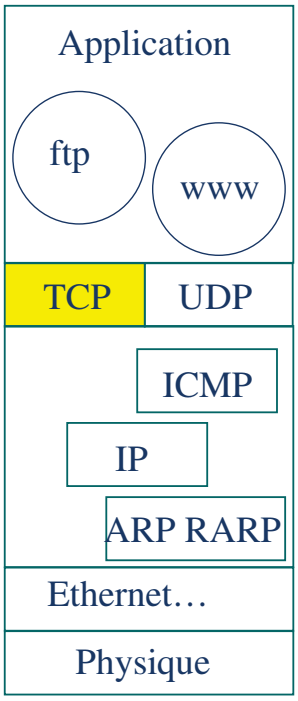
- *Source Port* (16 bits) :
  - Port source.
- *Destination Port* (16 bits) :
  - Port destination.
- *Length* (16 bits) :
  - Longueur totale du datagramme UDP en octets.
  - Au plus 64 Ko.
- *Checksum* (16 bits) :
  - Optionnel. 0. Sinon calculé sur le datagramme UDP (plus 12 octets comprenant les @IP source et destination…).

UDP

- L'entête UDP fait 8 octets.
- En réception, le port destination permet de savoir quelle application réveiller pour traiter les données reçues.
- Un datagramme UDP est inclus dans le champ données d'un datagramme IP (encapsulation).

UDP

- UDP est un protocole de transport non fiable.
- Il n'assure pas :
  - Un mode connecté.
  - La retransmission des données s'il y a des erreurs ou des pertes.
  - Le séquencement des données.
  - Le contrôle de flux.
- TCP corrige ces défauts au détriment d'un protocole plus lourd et moins réactif.
- Pour transmettre des données rapidement sur un réseau local, UDP est préférable à TCP.



TCP

- TCP pour *Transmission Control Protocol* (RFC 793).
- TCP est un mode de transport avec connexion, fiable et avec garantie qui utilise IP pour le transport.
- Comme UDP, TCP n'est pas utilisé dans un routeur IP mais dans les machines distantes.

TCP

- TCP permet un transport des données :
  - De bout en bout entre applications distantes.
  - En mode connecté : phase de connexion, de transfert de données, de libération.
  - Sans erreurs de transmission : contrôle et retransmission si nécessaire.
  - Sans perte de données : numérotation des octets émis.
  - Ordonné.
  - Système d'acquittement des octets bien reçus.
  - Contrôle de flux (par fenêtre glissante).
  - *Full duplex*.

TCP

- TCP traite les données utilisateur du niveau supérieur comme un flux d'octets non structuré.

- TCP découpe ce flux d'octets en segments TCP :
  - Taille maximale d'un segment TCP : 64 Ko.
  - La taille réelle dépend du médium utilisé (MTU).

TCP

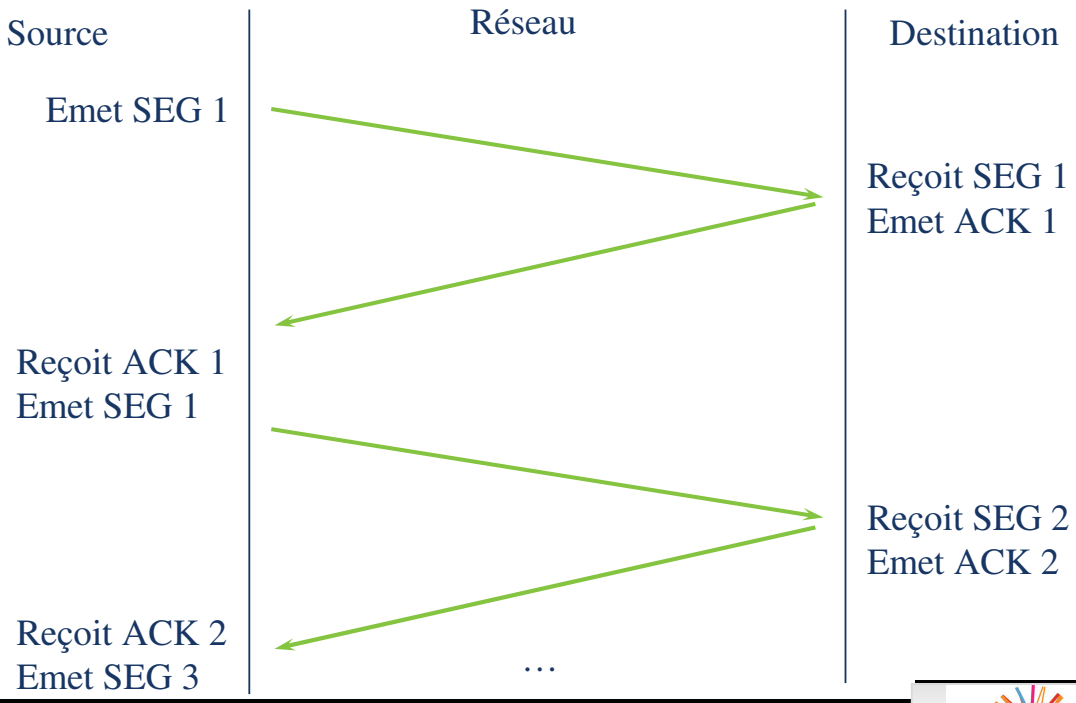
- Un segment TCP est contenu dans le champs données d'un datagramme IP (encapsulation).

- Des segments TCP sont définis pour :
  - Etablir la connexion.
  - Transférer des données.
  - Fermer la connexion.
  - Gérer la connexion (contrôle de flux…).

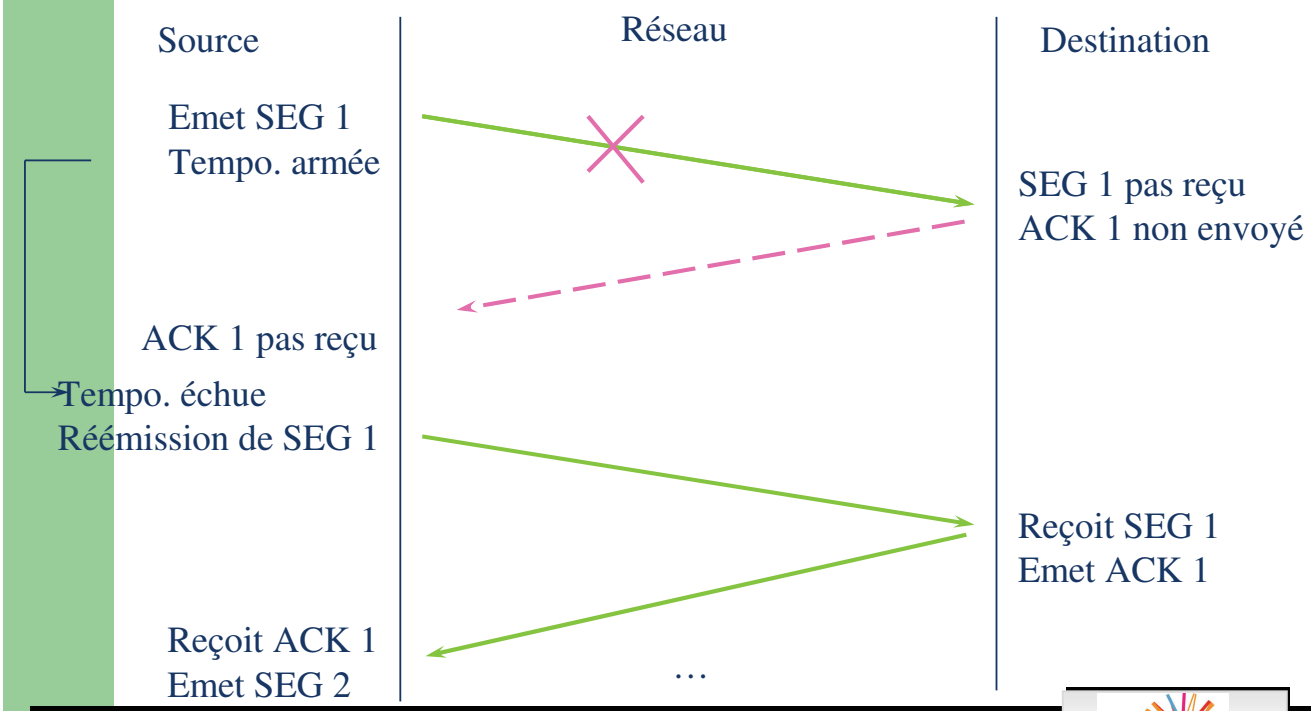
Efficacité d'un transfert

- Mécanisme de transfert *Send and Wait*. On transmet un segment puis on attend son acquittement avant de transmettre le suivant.

Efficacité d'un transfert



Efficacité d'un transfert



Efficacité d'un transfert

- Si l'on n'a pas d'acquittement à l'arrivée à échéance du *timer*, on retransmet et on attend de nouveau.
- Le réseau est très mal exploité car il n'est utilisé que pendant la transmission.
- On introduit la notion de fenêtre d'anticipation ou fenêtre glissante pour plus d'efficacité (*sliding window*).

Efficacité d'un transfert

- Mécanisme de la fenêtre glissante :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 . . .

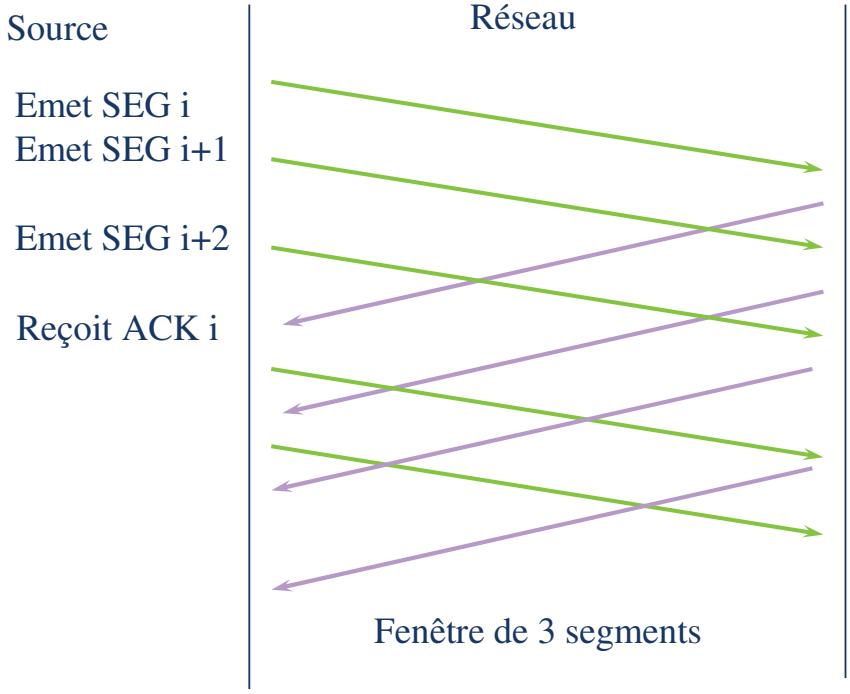
- L'émetteur peut envoyer au plus 3 segments avant de recevoir un acquittement (fenêtre de 3 segments). Avec l'arrivée de l'acquittement du segment 1, la fenêtre glisse de 1 (segment) vers la droite :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 . . .

→ Glissement de 1

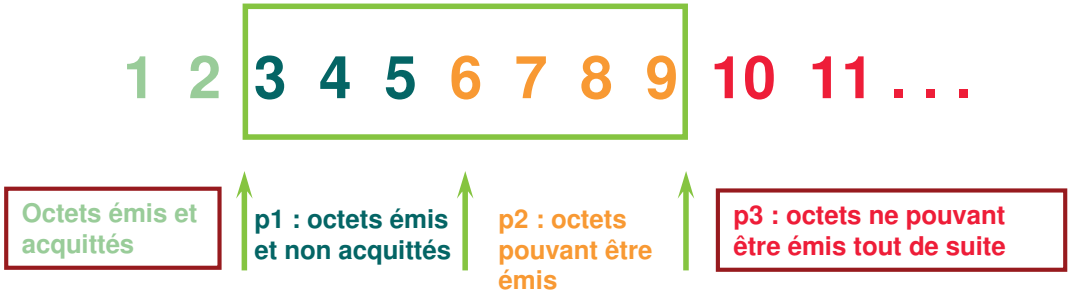
Efficacité d'un transfert

- Si la taille de la fenêtre est suffisante, il n'y a pas de blocage…



TCP

- TCP utilise le système de fenêtre glissante non pas sur les segments mais sur les **octets** :
  - Numérotation des octets.
  - Numérotation séquentielle.
  - L'émetteur gère 3 pointeurs sur les octets.
  - Ce mécanisme s'applique aux 2 extrémités de la connexion.

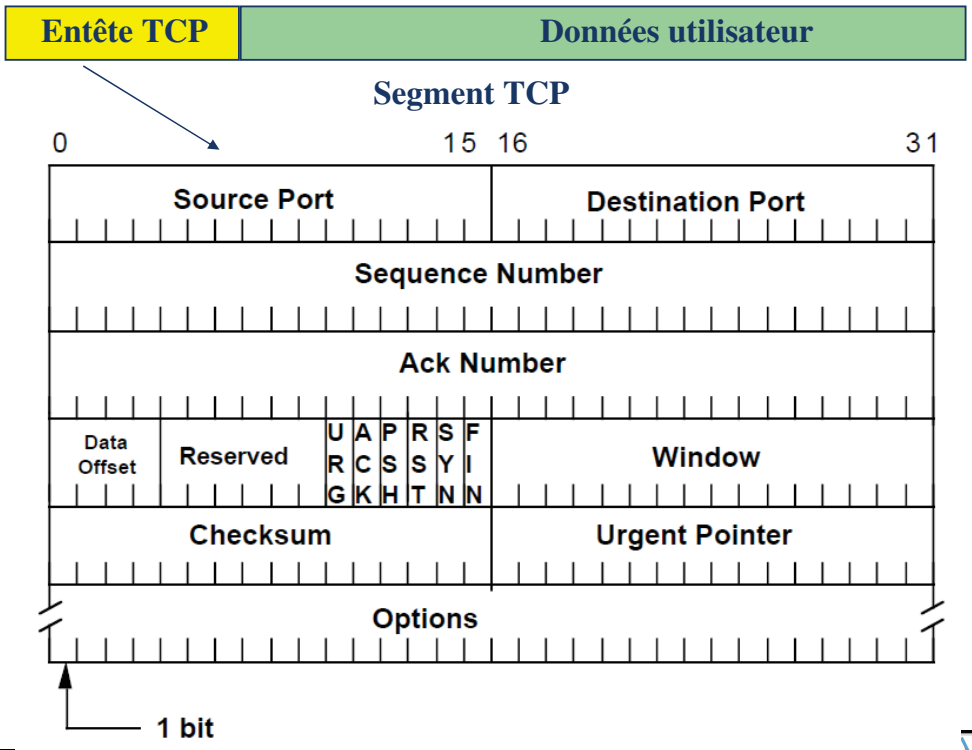


Fenêtre de 7 octets

TCP

- La taille de la fenêtre glissante n'est pas fixe mais varie en cours de la connexion.
- Dans le segment TCP d'acquittement, le destinataire précise le nombre d'octets qu'il est prêt à accepter. La fenêtre de l'émetteur est modifiée alors.
- On commence avec une petite valeur pour la taille de la fenêtre puis on augmente (*slow start*) si tout va bien.
- Pour réduire le débit écoulé, il suffit de réduire la taille de la fenêtre ce qui contribue au contrôle du flux échangé !

TCP



TCP

- La taille de l'entête TCP fait 20 octets. Combinée à IP, cela fait 20+20=40 octets, ce qui est beaucoup !

- Il existe des segments TCP pour :
  - Etablir la connexion.
  - Transférer les données utilisateur.
  - Envoyer des acquittements de données correctement reçues.
  - Ajuster la taille des fenêtres.
  - Fermer la connexion.

TCP

- *Source Port* (16 bits) :
  - Port source.
- *Destination Port* (16 bits) :
  - Port destination.
- *Sequence Number* (32 bits) :
  - Valeur en octets.
  - Numérote le numéro du dernier octet émis.
  - Assure le bon séquencement.

TCP

- *Acknowledge Number* (32 bits) :
  - Valeur en octets.
  - Numérote le numéro du dernier octet reçu + 1. Donne donc le numéro du prochain octet attendu.
  - Acquittement tous les octets reçus précédemment.
  - Assure le bon séquencement.
- *Data offset* (4 bits) :
  - Taille de l'entête TCP en multiple de 32 bits. 5 ici.

TCP

- *URG* (1 bit) :
  - Urgent. Tag d'un segment TCP urgent (CTRL C dans ssh).
- *ACK* (1 bit) :
  - Tenir compte de *l'Acknowledge Number*.
- *PSH* (1 bit) :
  - Délivrer immédiatement les données. L'émetteur ne prévoit pas d'envoyer d'autres données dans l'immédiat.
- RST (1 bit) :
  - Reset. Reprendre une connexion au début.
- SYN (1 bit) :
  - Etablissement d'une connexion TCP.
- FIN (1 bit) :
  - Fin d'une connexion TCP.

TCP

- *Window* (16 bits) :
  - Taille de la fenêtre en octets.
  - Nombre d'octets maximum pouvant être émis sans en attendre l'acquittement.
  - Assure le contrôle de flux.
- *Checksum* (16 bits) :
  - Somme de contrôle sur l'entête et les données du segment TCP.

TCP

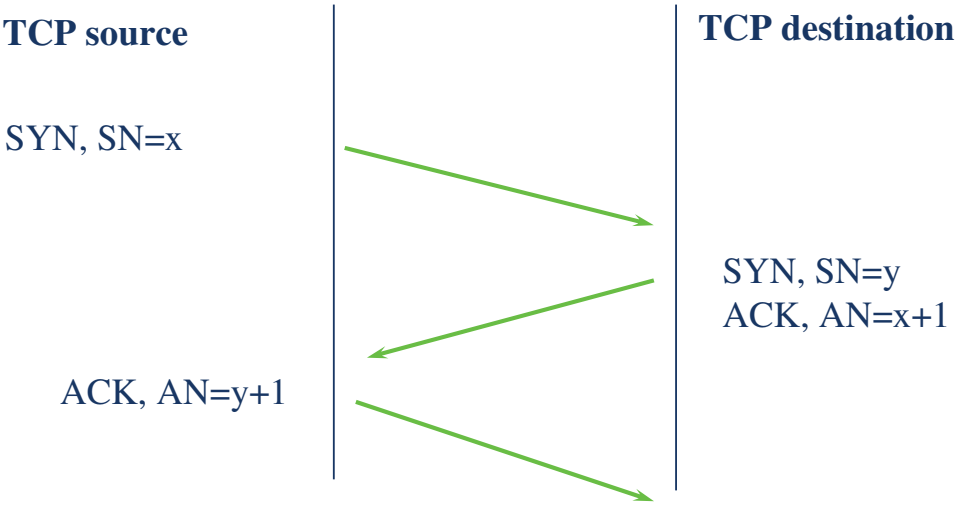
- *Urgent Pointer* (16 bits) :
  - Indique le numéro du dernier octet urgent quand URG=1.
- *Options* (32 bits) :
  - Champ optionnel. Pas utilisé.

TCP

- Les accusés de (bonne) réception (des données précédemment reçues) :
  - Peuvent être envoyés en même temps que des données : technique du *piggy backing*.
  - Ne sont pas obligatoires à chaque segment TCP reçu.
- TCP s'adapte sans paramétrage à tous les débits, à tous les temps de réponse donc à tous les réseaux (taille de fenêtre dynamique, *timers* dynamiques…).

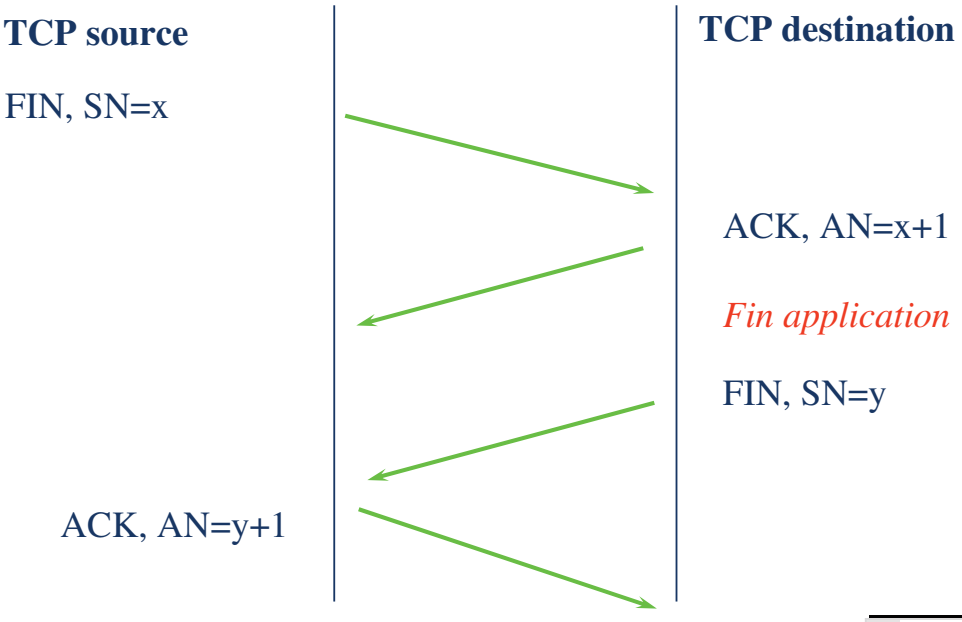
TCP

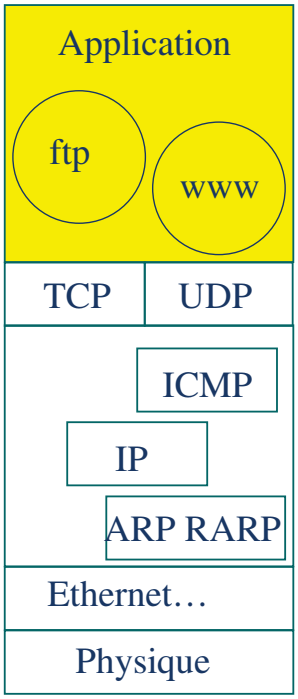
- Etablissement d'une connexion TCP :



TCP

- Libération d'une connexion TCP :





Configuration réseau sous UNIX

- Il s'agit de voir les principaux fichiers de configuration d'un réseau IP sous UNIX.
- Il s'agit aussi de voir les principales commandes de configuration réseau IP sous UNIX.

Configuration réseau sous UNIX

- Ces fichiers et ces commandes existe sous Windows. Il suffit d'ouvrir une « invite de commandes » !!! :

```
Microsoft Windows [version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

C:\Users\Patrice>netstat -nr
===========================================================================
Liste d'Interfaces
 11...00 1b fc be 9f 03 ......Marvell Yukon 88E8056 PCI-E Gigabit Ethernet Contr
oller
 17...08 00 27 00 2c ea ......VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter
  1...........................Software Loopback Interface 1
 25...00 00 00 00 00 00 00 e0 Carte Microsoft ISATAP
 12...00 00 00 00 00 00 00 e0 Teredo Tunneling Pseudo-Interface
 16...00 00 00 00 00 00 00 e0 Carte Microsoft ISATAP #2
===========================================================================

IPv4 Table de routage
===========================================================================
Itinéraires actifs :
Destination réseau    Masque réseau  Adr. passerelle   Adr. interface Métrique
          0.0.0.0          0.0.0.0    192.168.0.254      192.168.0.1    266
        127.0.0.0        255.0.0.0         On-link         127.0.0.1    306
        127.0.0.1  255.255.255.255         On-link         127.0.0.1    306
  127.255.255.255  255.255.255.255         On-link         127.0.0.1    306
      192.168.0.0    255.255.255.0         On-link       192.168.0.1    266
      192.168.0.1  255.255.255.255         On-link       192.168.0.1    266
```


Configuration réseau sous UNIX

- Fichier `/etc/hosts` :
  - Donne l'association adresse IP – nom symbolique d'une machine.
  - Exemple : `127.0.0.1  localhost`
- Fichier `/etc/networks` :
  - Donne l'association adresse du réseau – nom symbolique du réseau.
  - Exemple : `147.210.18.0  enseirb.fr`

Configuration réseau sous UNIX

- Fichier `/etc/services` :
  - Donne l'association numéro de port – nom symbolique du service.
  - Exemple : `ftp 21/tcp`

- Fichier `/etc/inetd.conf` ou `/etc/xinetd.conf` :
  - Configuration du serveur *inetd* de services. Serveur de serveurs.
  - Permet de valider ou pas un service Internet sur la machine (ftp, telnet…).

Configuration réseau sous UNIX

- Commande `ifconfig` :
  - Configuration de l'interface réseau.
  - Exemple : `% ifconfig -a`

- Commande `netstat` :
  - Affichage de statistiques réseau : table de routage, échanges UDP, TCP.
  - Exemple : `% netstat -a`
  - Exemple : `% netstat -nr`

Configuration réseau sous UNIX

- Commande `route` :
  - Affichage de la table de routage.
  - Exemple : `% route`
- Commande `arp` :
  - Affichage du cache ARP.
  - Exemple : `% arp -a`

Configuration réseau sous UNIX

- Commande `ping` :
  - Permet de voir si une machine cible est « vivante ».
  - Exemple : `% ping www.enseirb.fr`
- Commande `traceroute` :
  - Trace le chemin emprunté par les données dans le réseau IP à destination d'une machine cible.
  - Exemple : `% traceroute www.enseirb.fr`

Les protocoles d'Internet : bilan

- Les protocoles TCP/IP et à moindre mesure UDP/IP sont les protocoles les plus utilisés actuellement.
- C'est d'autant plus vrai avec l'Internet des objets et les objets connectés où chaque objet intègre une pile TCP/IP pour communiquer.
- Si l'on intègre dans l'objet un système d'exploitation comme Linux « au hasard », la pile TCP/IP est là de facto. Mais c'est une autre histoire…

Les protocoles d'Internet : bilan

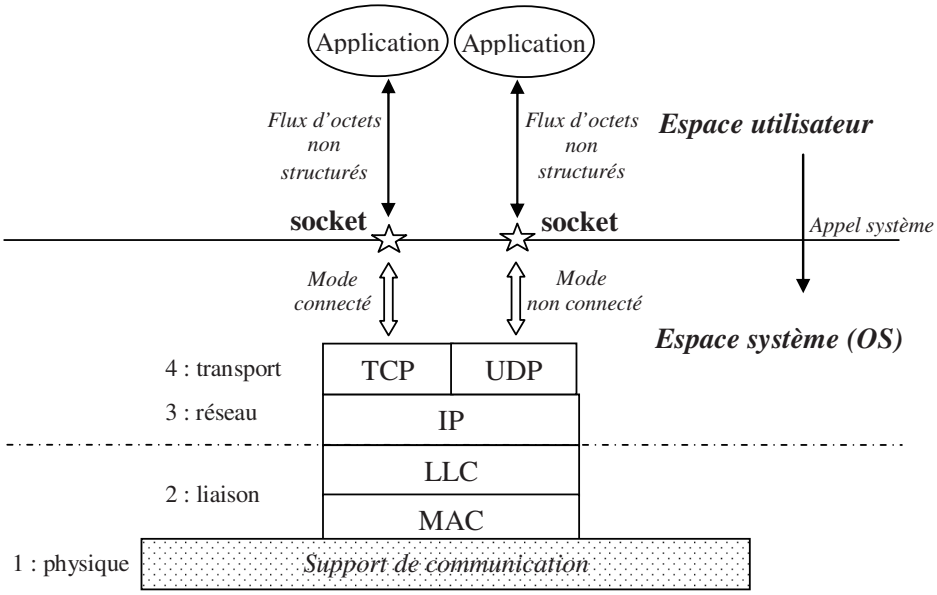
- Avantages de la suite de protocoles TCP/UDP/IP :
  - Gratuit.
  - Indépendance vis-à-vis des constructeurs de matériels.
  - Disponible sur tout type de matériel : systèmes embarqués, objets connectés…
  - Facile à mettre en œuvre.
  - Intégré dans les systèmes d'exploitation modernes.
  - Eprouvé depuis longtemps.
  - Bien documenté.
  - Simple mais efficace.

Les protocoles d'Internet : bilan

- Inconvénients de la suite de protocoles TCP/UDP/IP :
  - Pas une norme internationale. Différentes souches implantées ce qui posait des problèmes d'interopérabilité et de sécurité.
  - Classe B épuisée. IPv6, la solution !
  - Sécurité pas prise en compte au niveau IP mais au niveau de l'application. Aujourd'hui, on intègre la sécurité au niveau réseau. IPsec, la solution !

PARTIE 9
L'API SOCKETS

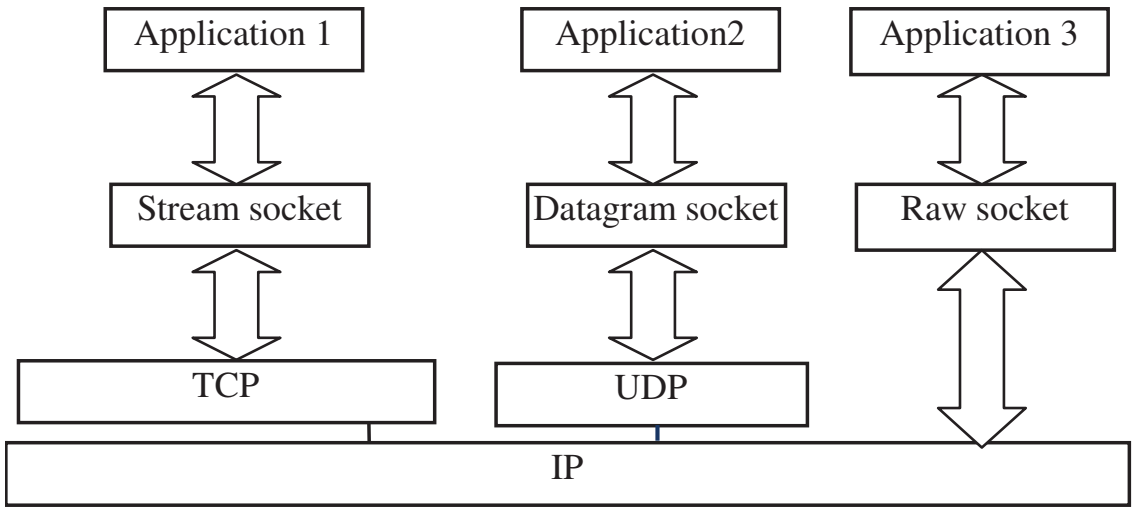
Protocoles Internet : rappel



Attributs des sockets

- Un nom :
  - Descripteur de fichier.
- Un type :
  - SOCK_STREAM : mode connecté fiable avec TCP/IP.
  - SOCK_DGRAM : mode non connecté non fiable avec UDP/IP.
  - SOCK_RAW : mode brut caractère pour accès direct aux couches inférieures. Seul, le superutilisateur peut l'utiliser.
- Associé à un processus.
- Une adresse : adresse IP + n° port.

Types de sockets et protocoles



Mode de dialogue et appels système

- Liste des principaux appels système de l'API *socket* :

Client UDP	Serveur UDP	Client TCP	Serveur TCP
`socket()`	`socket()`	`socket()`	`socket()`
	`bind()`		`bind()`
			`listen()`
		`connect()`	`accept()`
`recvfrom()` `sendto()`	`recvfrom()` `sendto()`	`read()` `write()`	`read()` `write()`
`close()`	`close()`	`close()`	`close()`

Mode de dialogue et appels système

- Un processus (le serveur) est en attente (à l'écoute) sur un numéro de port :

  => Tous les processus (les clients) connaissant l'adresse IP du serveur et le numéro de port peuvent lui envoyer des messages (requêtes).

- Le serveur traite les messages entrants puis renvoie une réponse au client en utilisant le numéro de port source contenu dans l'en-tête du message.

- En mode connecté, il y a établissement préalable d'une connexion (service fiable).

*NIX et les descripteurs de fichier

- Sous *NIX (Unix, Linux…), tout est fichier.

- Tout est représenté par un fichier dans le système de fichiers :
  - Fichier ASCII : fichier normal.
  - Fichier binaire : fichier normal.
  - Répertoire : fichier spécial.
  - Périphérique matériel sous `/dev` : fichier spécial.
  - Tube nommé (*fifo*) : fichier spécial.

*NIX et les descripteurs de fichier

- Tout revient alors à manipuler les 5 appels système universels bas niveau :
  - Ouverture : `open()`.
  - Fermeture : `close()` .
  - Lecture : `read()`.
  - Ecriture : `write()`.
  - Configuration : `ioctl()`.
- L'ouverture d'un fichier renvoie un descripteur de fichier qui identifie le flux d'octets non structurés (*stream*) échangé.

*NIX et les descripteurs de fichier

- Un descripteur de fichier est unique pour chaque processus qui s'exécute. Il identifie de façon dynamique un flux échangé.
- Il est du type : `int fd;`
- Il existe aussi le descripteur de fichier pour des entrées/sorties formatées du type : `FILE *fd;`
- Un descripteur de fichier est une valeur positive ou nulle quand tout va bien.

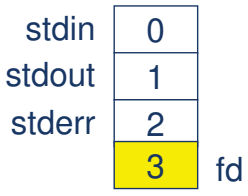
*NIX et les descripteurs de fichier

- Quand un processus est créé, il possède par défaut 3 descripteurs de fichier :
  - 0 : entrée standard = clavier.
  - 1 : sortie standard = écran.
  - 2 : erreur standard = écran par défaut.
- L'appel système `open()` renvoie un descripteur de fichier qui sera utilisé comme premier argument des 4 autres appels système.
- Il existe d'autres appels système qui créent des descripteurs de fichier...

*NIX et les descripteurs de fichier

- La « règle d'or » s'applique lors de la création d'un descripteur de fichier : l'appel système (`open()`) renvoie la plus petite valeur positive ou nulle libre.
- Exemple 1 :

```
int fd;
. . .
if((fd = open("toto.txt", O_RDWR)) == -1) {
    printf("Erreur d'ouverture\n");
    exit(-1);
}
. . .
```



fd vaut 3.

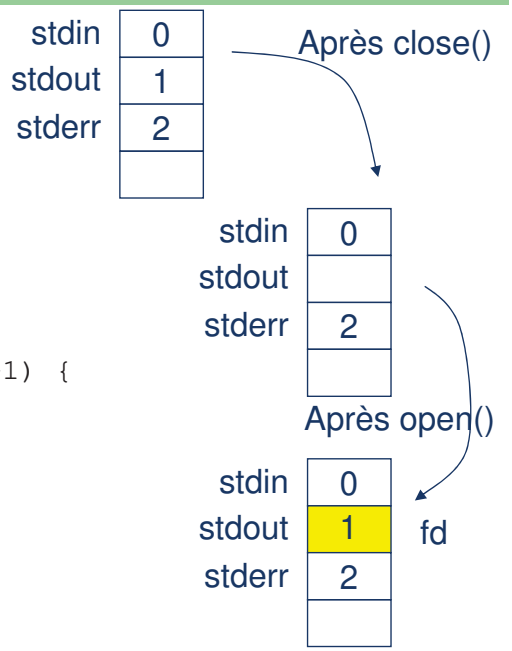
*NIX et les descripteurs de fichier

- Exemple 2 :

```
int fd;

. . .
close(1);

if((fd = open("toto.txt", O_RDWR)) == -1) {
   printf("Erreur d'ouverture\n");
   exit(-1);
}
. . .
printf("coucou");
```



fd vaut 1. Que se passe-t-il lorsque que j'exécute un `printf()` ?

Structures de données

```
#include <sys/types.h>              // Bibliothèques requises
#include <sys/socket.h>

struct sockaddr {
   unsigned short sa_family;        // Famille de protocole pour cette adresse
   char  sa_data[14];               // 14 octets d'adresse
   }

struct sockaddr_in {                // _in pour Internet
   short sin_family;                // Famille de protocole pour cette adresse
   u_short sin_port;                // Numéro de port
   struct in_addr sin_addr;         // Adresse IP
   char  sin_zero[8];               // Non utilisé
   }

struct in_addr {
   u_long s_addr;                   // Soit 4 octets
   };
```

Création et fermeture d'une socket

- **`int socket(int af, int type, int protocole)`**
  - Création de la structure de données permettant la communication.
  - af = famille de protocole (Internet, IPC, …).
    - AF_INET (ou PF_INET) : domaine Internet.
    - AF_UNIX : domaine UNIX. Communications locales IPC.
  - type = SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM, SOCK_RAW.
  - protocole : 0 pour protocole par défaut.
  - `socket()` retourne :
    - Un descripteur de *socket*.
    - -1 si erreur (voir errno).

- **`close(int socket)`**
  - Ferme la connexion (SOCK_STREAM) et supprime la structure de données associée au descripteur de *socket*.

Liaison socket et adresse IP du serveur

- **`int bind(int socket, struct sockaddr * adresse-locale, int longueur-adresse)`**
  - Pour un serveur, associe un numéro de port et l'adresse locale à la socket, retourne –1 si erreur.
  - socket = descripteur de *socket*.
  - adresse-locale = structure qui contient adresse IP + n° de port.
  - adresse-locale : `struct sockaddr * :`
    - `sockaddr_in` si `AF_INET` (adresse IP).
  - longueur-adresse : `sizeof(struct sock_addr)`.
  - Si `sin_addr.s_addr= INADDR_ANY` : utilisation de l'adresse IP de la machine qui héberge le serveur.

Fonctions utilitaires

- **`struct hostent * gethostbyname(char *name)`**
  - Traduit un nom de domaine en adresse IP sur 32 bits.

```
struct hostent *h;
h=gethostbyname("www.enseirb-matmeca.fr");
printf("adresse IP: %s\n",
       inet_ntoa(*((struct in_addr *)h->h_addr)));
```

- **`getservbyname(...)`**
  - Traduit en numéro de port le nom d'un service.

- **`char * inet_ntoa(int in_addr)`**
  - Convertit une adresse IP 32 bits sous format ASCII.

```
char *ad1_ascii;
ad1_ascii=inet_ntoa(sa.sin_addr),
printf("adresse: %s\n",ad1_ascii);
```


Fonctions utilitaires

- Conversion *Network Byte Order* vs *Host Byte Order* pour régler le problème de représentation des types simples *big endian* ou *little endian* :
  - **`htons()`** : *Host to Network Short.*
  - **`htonl()`** : *Host to Network Long.*
  - **`ntohs()`** : *Network to Host to Short.*
  - **`ntohl()`** : *Network to Host to Long.*

Lecture/écriture en mode UDP

- **`int sendto(...)`**
  - Permet l'envoi d'un datagramme UDP.
  - Contient les coordonnées (structure `sockaddr`) du destinataire.
  - Renvoie le nombre d'octets réellement émis.

- **`int recvfrom(...)`**
  - Réception bloquante d'un datagramme UDP.
  - Contient les coordonnées (structure `sockaddr`) de l'expéditeur.
  - Renvoie le nombre d'octets réellement reçus.

Lecture/écriture en mode UDP

```
int sendto(
    int sd,                     // Descripteur de socket
    void *buffer,               // Buffer à envoyer
    int longueur,               // Taille du buffer
    int option,                 // 0
    struct sockaddr *coord,     // Coordonnées destinataire
    int longueur_coord          // Longueur adresse
);

int recvfrom(
    int sd,                     // Descripteur de socket
    void *buffer,               // Buffer de réception
    int longueur,               // Taille zone réservée
    int option,                 // 0
    struct sockaddr *coord,     // Coordonnées expéditeur
    int *longueur_coord         // Longueur adresse
);
```

- Les coordonnées du destinataire ou de l'expéditeur sont en fait une structure de type `sockaddr`.

Connexion en mode TCP

- `connect (int socket, struct sockaddr * adr-destination, int longueur-adresse)`
  - Côté client TCP.
  - Pour établir une connexion TCP avec le processus serveur.
  - Les coordonnées du serveur sont spécifiées.
  - Appel bloquant jusqu'à ce que la connexion TCP soit établie avec le serveur.

Création d'une file d'attente

- `listen(int socket, int longueur-file)`
  - Côté serveur TCP.
  - Création d'une file d'attente pour les demandes de connexion.
  - lgr-file indique le nombre maximum de demandes de connexion autorisées dans la file (5, 10 ou 20).
  - File d'attente exploitée par l'appel `accept()`.

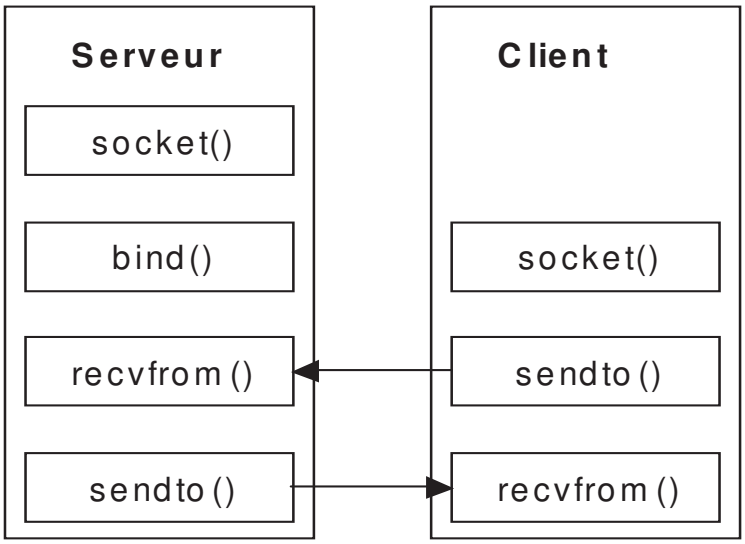
Acceptation d'une connexion TCP

- **`newsock = accept (int socket, struct sockaddr * adr-expéditeur, int longueur-adresse)`**
  - Côté serveur TCP.
  - Prise en compte d'une demande de connexion entrante sur une *socket*.
  - Appel bloquant.
  - newsock : nouveau descripteur de *socket* de la connexion établie sur laquelle s'effectuera l'échange de données.
  - adresse : coordonnées du client TCP.
  - Le processus peut traiter lui-même la nouvelle connexion, puis revenir à `accept()` ou bien se répliquer (`fork()`) pour la traiter, le processus père se remettant alors à l'écoute d'une nouvelle connexion entrante.

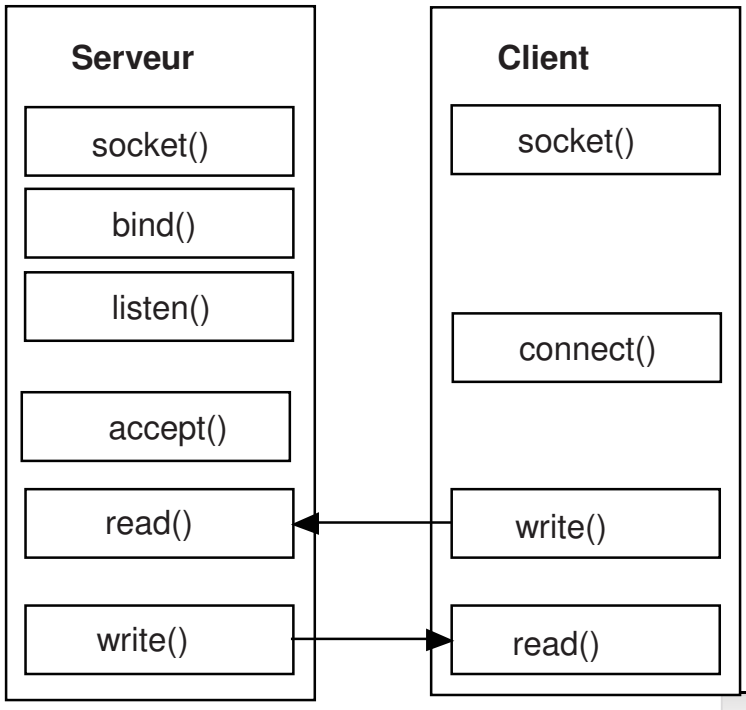
Lecture/écriture en mode TCP

- **`write(int newsock, void * buffer, int longueur)`**
  - Envoie des données sur la connexion TCP établie.
  - Plus besoin des adresses émetteur/destinataire.
  - Renvoie le nombre d'octets réellement émis.
- **`read(int newsock, void * buffer, int longueur)`**
  - Reçoit des données sur la connexion TCP établie.
  - Plus besoin des adresses émetteur/destinataire.
  - Renvoie le nombre d'octets réellement reçus.
- L'usage de ces 2 appels système est le même que lorsqu'ils sont utilisés sur fichier. L'appel `read()` est bloquant (comme le `write()` si saturation de la pile réseau).

Séquencement des appels système en mode UDP



Séquencement des appels système en mode TCP



PARTIE 10
CONCLUSION

Conclusion

- Introduction aux réseaux.
- Présentation du modèle OSI.
- Présentation de la technologie Ethernet.
- Présentation d'Internet et de ses principaux protocoles, d'Internet embarqué et de l'Internet des objets.
- Présentation de l'API *sockets* et d'exemples complets de clients et de serveurs.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Ce cours est bâti autour des documents de formation réseaux du CNRS (www.urec.fr) de Jean Paul Gautier et Bernard Tuy.
- Les réseaux. G. Pujolle. Editions Eyrolles.
- Les réseaux. Introduction. E. Cechet.
- La communication sous UNIX. J.M. Rifflet. Editions Mc Graw Hill.
- L'informatique répartie sous UNIX. M. Gabassi et B. Dupouy. Editions Eyrolles.

Bibliographie

- Le modèle OSI. Pascal Sore.
- Les couches ISO. Le modèle OSI. Patrick Monassier.
- Le modèle de référence OSI. Luc de Mey.
- Brève histoire d'Internet. Daniel Poulin. Université de Montréal.
- Les sockets UNIX. Sylvie Dupuy. Université de Jussieu.
- Interface des sockets. Patrick Félix. Université de Bordeaux 1.