

HAI404I : Licence 2 Informatique

## Réseaux : IP, Protocoles et Communications

---

Anne-Elisabeth Baert – [baert@lirmm.fr](mailto:baert@lirmm.fr)

2021-2022

## ① Chapitre 2 : Les couches Réseaux

Les couches : architecture pour les réseaux

- La couche physique
- La couche liaison de données
- La couche réseau
- La couche transport
- La couche Session
- La couche présentation
- La couche application

Du passage des données entre les couches

## ② Chapitre 3 : Des noms et des adresses

Caractéristiques d'Internet

Présentation du problème

Un nom, c'est bien, une adresse, c'est mieux ....

Historique : l'adressage par classes

Adressage CIDR

Et les adresses Ipv6, c'est quoi ?

Des adresses IP pour le routage

Les adresses physiques

## ① Chapitre 2 : Les couches Réseaux

Les couches : architecture pour les réseaux

- La couche physique
- La couche liaison de données
- La couche réseau
- La couche transport
- La couche Session
- La couche présentation
- La couche application

Du passage des données entre les couches

## ② Chapitre 3 : Des noms et des adresses

Caractéristiques d'Internet

Présentation du problème

Un nom, c'est bien, une adresse, c'est mieux ....

Historique : l'adressage par classes

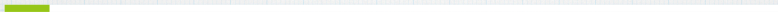
Adressage CIDR

Et les adresses Ipv6, c'est quoi ?

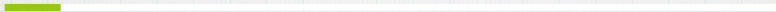
Des adresses IP pour le routage

Les adresses physiques

## Chapitre 2 : Les couches Réseaux

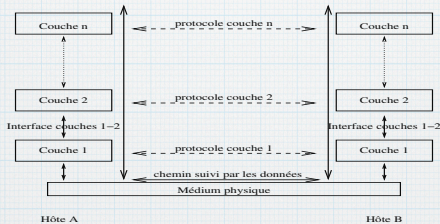


## Les couches : architecture pour les réseaux





## Architecture : construction en couches



### Définition

Protocole : règles et conventions utilisées entre couches homologues (hôtes différents).

### Définition

Interface : règles et conventions utilisées entre couches voisines (même hôte).

## Encapsulation - Un Début

### Principes

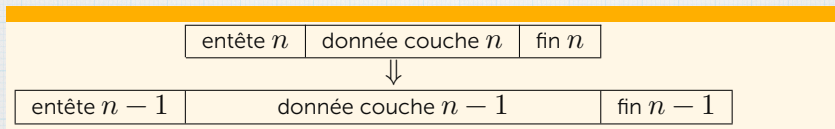
Chaque couche a ses propres impératifs liés à

- l'adressage (forme et codage de l'adresse),
- la taille (maximale et minimale) du paquet,
- la méthode de réalisation du contrôle.

### Encapsulation

Elle est donc amenée lors de l'**expédition** à envelopper (on dit encapsuler) le paquet transmis par la couche au dessus dans la partie donnée de son propre paquet,

## Encapsulation - Un Début





## Architecture : problème de couches

### Historique

1977 : début d'une réflexion sur une architecture de réseau en couches,

1983 : définition du modèle OSI

Open : systèmes ouverts à la communication avec d'autres systèmes

Systems : ensemble des moyens informatiques (matériel et logiciel) contribuant au traitement et au transfert de l'information.

ISO = International Organization for Standardization en français Organisation  
Internationale de Normalisation Interconnection

On s'intéresse dans cette partie surtout à la **diversité des problèmes**.

## Définition








Le modèle OSI est un modèle d'architecture de réseau qui propose une norme pour le nombre, le nom et la fonction de chaque couche .

## Que fait ce modèle ?

Il garantit que 2 systèmes hétérogènes pourront communiquer si :

- ☐ même ensemble de fonctions de communication,
- ☐ fonctions organisées dans le même ensemble de couches,
- ☐ les couches paires partagent le même protocole.

## Modèle OSI

7	Application		Services applicatifs au plus proche des utilisateurs
6	Présentation		Encode, encrypte, compresse les données utiles
5	Session		Etablit des sessions entre des applications
4	Transport		Etablit, maintien et termine des sessions entre des périphériques terminaux
3	Réseau		Adresse les interfaces globalement et détermine les meilleurs chemins à travers un inter-réseau
2	Liaison de Données		Adresse localement les interfaces, livre les informations localement, méthode MAC
1	Physique		Encodage du signal, câblage et connecteurs, spécifications physiques

## Périphérique / Description

# Modèle OSI

## Modèle TCP/IP



# CISCO

# Modèle TCP/IP

Modèle OSI

7

Application

6

Présentation

5

Session

4

Transport

3

Réseau

2

Liaison de Données

1

Physique

## Périphérique / Description



Services applicatifs au plus proche des utilisateurs



Encode, encrypte, compresse les données utiles



Etablit des sessions entre des applications



Etablit, maintien et termine des sessions entre des périphériques terminaux



Adresse les interfaces globalement et détermine les meilleurs chemins à travers un inter-réseau



Adresse localement les interfaces, livre les informations localement, méthode MAC



Encodage du signal, câblage et connecteurs, spécifications physiques

## Modèle TCP/IP

Application

4

Transport

3

Réseau

2

Accès au Réseau

1

## La couche physique

### Définition (La couche 1 : couche physique)

Elle permet la transmission d'éléments binaires, transmet un flot de bits sans en connaître la signification ou la structure.

### Fonctions :

- Fournir les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels, procéduraux pour l'activation, le maintien et la désactivation physiques destinées à la transmission des éléments binaires entre entités de liaisons.
- principalement les capacités électroniques
- **unité** traitée : un bit, au mieux un octet.



## La couche physique

### Matériels

Les modems, multiplexeurs.

### Les caractéristiques

Ses caractéristiques induisent des performances en termes de débit (on dit aussi bande passante).

Ce sont plutôt des problèmes d'électronique.

## La couche 2 : la couche liaison de données

### But de cette couche :

Transformer un moyen brut de transmission en une liaison de données qui paraît exempte d'erreur de transmission à la couche supérieure.

### Caractéristiques et fonctions :

- **Unité** traitée : un paquet ;
- achemine les données reçues de la couche supérieure en les organisant en blocs de transmission,
- elle transfère des paquets de source à destination ; on parle de trame, de cellule...selon les propriétés et données contenues dans les paquets.
- correction d'erreurs, règles de partage du support, qualité de service.

## La couche liaison de données

### Remarque :

Jusque là il s'agit d'une liaison directe entre deux hôtes, sans changement de support physique.

### Ethernet

Ensemble (matériel et logiciel) permettant de réaliser les impératifs de cette couche. Il est aujourd'hui intégré dans les cartes réseau ethernet. La partie matérielle d'ethernet permet de détecter si le support est libre ou occupé mais aussi les collisions.

Schéma algorithmique  
d'accès et partage du  
support d'éthernet :

---

---

```
paquetExpédié = faux    (non paquetExpédié)
(non supportLibre)attendre  expédier paquet
collision tirer délai aléatoire  paquetExpédié =
vrai
```

---

---

## La Couche réseau

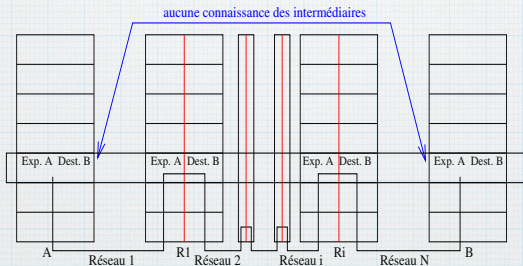
### Changement important :

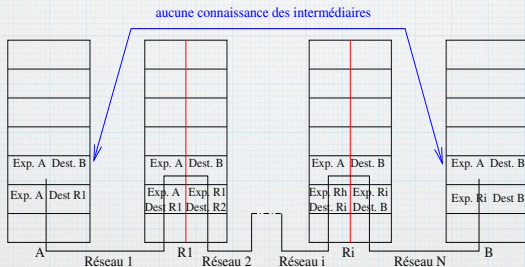
- Le destinataire final peut se situer dans un réseau distant, différent par la structure et la topologie de celui de l'expéditeur.
- Il faut passer par des intermédiaires (routeurs).
- Il faut interconnecter des matériels et des réseaux hétérogènes.

### Problèmes d'interconnexion

Interconnexion de réseaux en vue de la transmission de bout en bout : source et destination du message.







## Caractéristiques

- contrôle de flux : baisser, augmenter la cadence en fonction de l'état des espaces tampon ,
- routage : trouver un chemin adéquat ou au moins le prochain nœud,
- adressage : quelle forme, comment passer de l'adresse réseau à l'adresse physique (adresse physique et adresse liaison sont souvent utilisés comme synonymes)
- mode connecté (exemples : X25, certains réseaux publics) ou
- mode sans connexion (exemple : IP protocole de l'Internet)

## Attention

La taille des paquets est  $\neq$  de la taille des trames ; donc découpage possible et besoin de réassembler les morceaux.

## La Couche transport

### Définition

La couche transport est responsable du bon acheminement des messages complets au destinataire.

### Rôle de la couche transport

Son rôle est de prendre les messages de la couche session, de les découper (s'il le faut) en unités plus petites et de les passer à la couche réseau, tout en s'assurant que les morceaux arrivent correctement de l'autre côté. Elle effectue donc aussi le réassemblage du message à la réception des morceaux.

### Les paquets vs les messages

On passe du niveau d'un paquet à celui d'une suite de paquets appelé message.

## Les adresses ?

à nouveau, des adresses source et destination seront associées, internes à chaque hôte.

## Optimisation grâce aux types de connexions

La couche transport sert à optimiser les ressources du réseau.

Elle crée une connexion réseau par connexion de transport requise par la couche session.

Elle est aussi capable de créer plusieurs connexions réseau par processus de la couche session pour répartir les données, par exemple pour améliorer le débit. Tout est transparent pour la couche session ....



## Le multiplexage

Elle est capable d'utiliser une seule connexion réseau pour transporter plusieurs messages à la fois grâce au multiplexage.

## Mode connecté ou sans connexion

Elle permet d'être en mode connecté ou sans connexion ( dépend du service offert avec ou sans garantie de délivrance, ...)

## Qos

Elle gère le contrôle de flux et donc la qualité de service ; notion importante, dépendante du service rendu par les trois premières, mais difficile à exprimer.

## Couche transport dans Internet

Les protocoles TCP, UDP, ...dans le monde Internet.

## Internet – protocoles transport

Services offerts par les protocoles de transport sous-jacents :

tcp	udp
fiable	non
ordre garanti	non garanti
duplication impossible	possible
mode connecté	sans connexion
orienté flot	orienté message

## Signification

**Fiable** : retourne un résultat à l'application, éventuellement négatif !

**Ordre garanti** : s'il y a désordre dans l'arrivée des paquets, le protocole prend en charge la remise en ordre et l'application ne s'en aperçoit pas.

**Duplication impossible** : s'il y a eu une double réception, le protocole la traite et l'application ne s'en aperçoit pas.

## Signification - ça se complique

**Mode connecté** : la boîte réseau est utilisée pour communiquer de façon exclusive avec une seule autre boîte réseau ; on parle alors de circuit virtuel établi entre les deux applications ; analogie : le téléphone (mode connecté) et le courrier postal (mode sans connexion).

**Orienté flot** : le contenu expédié est vu comme un flot ; il peut être reçu en plusieurs morceaux ; de même, plusieurs expéditions peuvent être délivrées en une seule réception.  $m$  lectures  $\leftrightarrow n$  écritures,  $m \neq n$ .

**Orienté message** : un message est expédié comme un bloc et reçu entièrement (ou non reçu si le protocole n'est pas fiable) ; vu de l'application, il n'est pas découpé. 1 lecture  $\leftrightarrow$  1 écriture.

## La Couche Session

### La couche 5 : la couche session

Elle organise et synchronise les échanges entre tâches distantes.

### Adresses ?

Elle réalise le lien entre les adresses logiques et les adresses physiques des tâches réparties

### Gestion de jetons

Elle établit également une liaison entre deux programmes d'application devant coopérer et commande leur dialogue (qui doit parler, qui parle...).

### Points de reprise

Elle permet aussi d'insérer des points de reprise dans le flot de données de manière à pouvoir reprendre le dialogue après une panne.



## 6 – Couche Présentation

### Rôle de la couche présentation

Elle s'intéresse à la syntaxe et la sémantique des données . Elle peut convertir, reformater, crypter compresser les données.

	octet1	octet2	octet3	octet4
gros boutiste	<p>poids fort</p> $2^{31} \dots 2^{24}$	$2^{23} \dots 2^{16}$	$2^{15} \dots 2^8$	<p>poids faible</p> $2^7 \dots 2^0$
petit boutiste	<p>poids faible</p> $2^7 \dots 2^0$	$2^{15} \dots 2^8$	$2^{23} \dots 2^{16}$	<p>poids fort</p> $2^{31} \dots 2^{24}$

Mais il n'y a pas que des entiers à transmettre...

## La couche Application

### Son rôle :

C' est le point de contact entre l'utilisateur et le réseau.

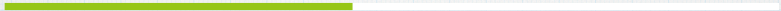
Elle va apporter à l'utilisateur les services de base offerts par le réseau.

Ce n'est pas un fourre-tout pour autant. Penser aux

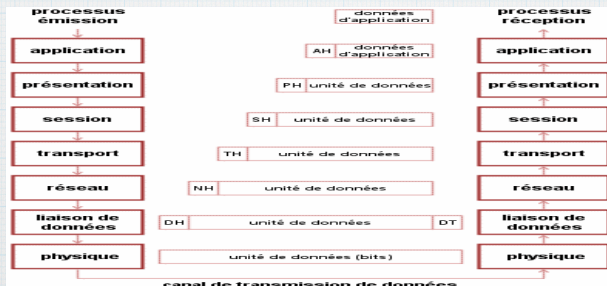
- protocoles de messagerie (acheminement, transcription des adresses),
- protocoles de la toile : http, https,
- protocoles de transfert de fichiers (multi-fichier, compression) :ftp ...
- codage des images (type de codage, compression),
- synchronisation d'horloges...

En quelque sorte, le début des problèmes lorsque la partie transmission sur les réseaux fonctionne (?)

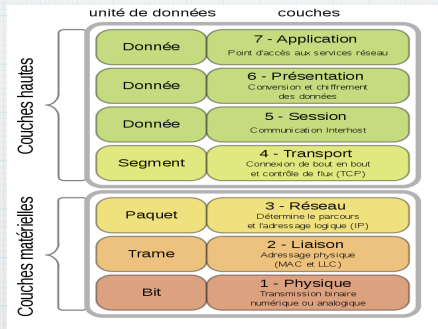
Du passage des données entre les couches



## Les transmissions de données



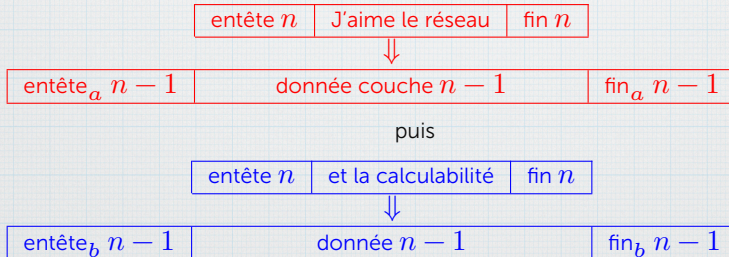
## Les transmissions de données



## Encapsulation et Découpage

### L'encapsulation

Pour tenir compte de ses propres caractéristiques, chaque couche peut être amenée, lors de l'encapsulation à découper ce paquet en tranches et transmettre alors chaque tranche dans un paquet.



## Exemple d'encapsulation

### Encapsulation Ethernet

Un paquet de la couche réseau, dans le protocole IP encapsulé dans un paquet ethernet :

				ent. IP	donnée IP	
entête eth				donnée eth		CRC
preamb 64 bits	D eth 48 bits	S eth 48 bits	type 16 bits	368 à 12000 bits		32 bits

longueur paquet IP  $\leq 65536$  octets

64 octets  $\leq$  longueur totale trame ethernet  $\leq 1518$  octets

### ATM



## Désencapsulation

### Désencapsulation

Chaque couche est amenée lors de la **réception** à :

- détecter une éventuelle anomalie en recalculant le code de contrôle,
- décapsuler le paquet : enlever entête et contrôle et transmettre au voisin.

### Remarque

Le code de contrôle n'est pas systématiquement présent dans toutes les couches ; il peut aussi être effectué sur une partie du paquet seulement et être incorporé dans l'entête.

## Question 1

Est-ce que le découpage à l'encapsulation peut intervenir à une position quelconque dans le paquet découpé ?

La réponse est oui (petit arrondi possible), mais la justification ?

## Question 2

Lorsqu'il y a eu découpage, qui (quelle couche, sur quel hôte) doit faire le réassemblage ?

Réponse vaste à garder au chaud.

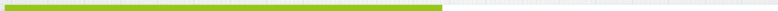
## Interconnexion de réseaux – la base

### Couche/Matériel

niveau	outil
physique	répéteur, concentrateur, hub
liaison	pont, commutateur, switch
réseau	routeur, router
plus haut	passerelle de ..., gateway

- Il existe des produits intermédiaires : pont–routeur, ...
- à chaque niveau, la machine réalisant l'interconnexion est capable de traiter le paquet correspondant (sauf pour le niveau physique). Elle reconnaît et peut séparer tous les éléments de l'entête ou contrôler la validité du paquet.

## Chapitre 3 : Des noms et des adresses



## Caractéristiques d'Internet



## Caractéristiques d'Internet

- Un ensemble de réseaux physiques disparates, interconnectés
- utilisant un ensemble de protocoles commun, regroupés dans l'appellation TCP/IP
- services connus : messagerie, transfert de fichiers, connexion à distance, serveurs de noms, partage de ressources.
- propositions et normes de facto : RFC (Request For Comment)

Les RFC sont des documents de référence, parfois bien lisibles, parfois non, avec un index riche, contenant un marquage d'obsolescence. **Recommandation :** Consulter au moins les plus connus, protocoles de messagerie, ceux de la toile, des protocoles communs de l'Internet.



## Présentation du problème





## Identifier pour s'y retrouver ...

### Le problème des adresses

On a un ensemble de machines qui ont des identifiants (différents ou pas) et on veut qu'elle communique entre elles. Il faut donc identifier ces machines intelligemment par rapport au réseau (en général) et par rapport à sa carte réseau en particulier.

### De l'ordre avec le nom de domaine

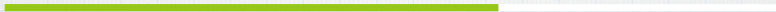
Nommage hiérarchisé par domaines : on a un domaine racine (=domaine de premier niveau) , puis un sous-domaines ( = de second niveau) , etc, jusqu'à l'hôte.

### Représentation

nom-hôte . sous-dom . .... domaine . dom-racine

Exemple : courses.carrefour.fr

Un nom, c'est bien, une adresse, c'est mieux ....



## Il faut nommer les choses

### Problème

Les noms sont un bon moyen pour désigner les hôtes et un très mauvais moyen pour acheminer des paquets.

On va associer une adresse aux hôtes : un **entier**. Dans la version 4 du protocole IP (version en cours) c'est un entier de **32** bits. Cette version s'appelle IPV4.

### Adresse/Paquets

Cet entier sera l'adresse de l'hôte et figurera ainsi dans tous les paquets de la couche IP.

## Historique : l'adressage par classes

---

## Adressage par classes sur IP

### Historique

Dans la préhistoire de l'Internet (1980-1990), les adresses étaient attribuées par classe, selon l'importance du réseau à administrer. Retour aux classes de services grâce à IPV6. - représente un bit affecté pour l'adresse du réseau ;

x représente un bit affecté pour l'adresse de l'hôte.

classe	octet1	octet2	octet3	octet4
A	0--- ----	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx
B	10-- ----	---- ----	xxxx xxxx	xxxx xxxx
C	110- ----	---- ----	---- ----	xxxx xxxx
D	1110	multiadressage		
E	1111	futur !!!!!		

## Adressage par classes

Mais aujourd'hui : adressage sans classes sur IPV4. On y remédie en utilisant les masques le sous-adressage et le sur-adressage.

### Exercice

Combien de réseaux respectivement de classe A,B,C sont possibles dans ce monde ?

Combien d'hôtes sont possible dans chacun des cas ?

Calculer les bornes dans chaque cas.



## Adresses spécifiques

### Adresse du réseau

Lorsque la partie allouée à l'hôte est toute à zéro, cette adresse le réseau. Elle sert dans les algorithmes de routage (voir ci-après).

### Adresse tous

**Tous** dans un réseau : lorsque la partie allouée à l'hôte est toute à 1 binaire, cette adresse désigne **tous** les hôtes du réseau. Elle sert lorsqu'on veut expédier un paquet à l'ensemble des hôtes.



## Adresse du réseau

- 198.211.18.47 désigne un hôte déterminé,
- 198.211.18.0 désigne l'adresse du réseau et cette adresse n'est utilisée que dans l'algorithme de routage ; elle ne figurera jamais dans un paquet,
- 198.211.18.255 désigne **tous** les hôtes du réseau ci-dessus ; elle peut figurer dans un paquet.

## Remarque :

on verra que les adresses réseau et tous n'ont pas forcément les suffixes respectifs 0 et 255.

Adressage CIDR



## Adressage CIDR

### Classless Inter-Domain Routing

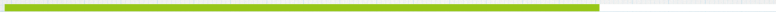
L'adressage sans classes=adressage CIDR est un système de gestion et d'allocation d'adresses IP le plus utilisé aujourd'hui. Ce système a été conçu pour remplacer l'adressage par classes ( RFC 1518 et 1519).

### Définition

Une adresse IP avec CIDR ressemble à une adresse IP normale, à la différence près qu'elle se termine par une barre oblique suivie d'un nombre, appelé préfixe du réseau IP.

Les adresses CIDR réduisent la taille des tables de routage et rendent plus d'adresses IP disponibles au sein des organisations.

Et les adresse Ips, c'est quoi ?



## Protocole IP

### Définition

On appelle **datagramme** un paquet vu de la couche réseau.

### Ce que garantit IP :

- ☐ Acheminement de datagrammes sans connexion ;
- ☐ décision selon l'adresse réseau du destinataire ;
- ☐ décision à chaque datagramme indépendamment du passé ;
- ☐ redécoupage possible ;
- ☐ boucles possibles ;
- ☐ acheminement **au mieux** (best effort), donc pas de garantie de livraison : un paquet peut être perdu, supprimé...

## Format du Paquet IP

octet 1		octet 2		octet 3		octet4	
Vers.	lg. ent.	type service		lg. paquet			
Identification				drapeaux		place frag.	
durée vie		proto. suiv.		contrôle entête			
adresse IP source							
adresse IP destination							
options ...							
...				bourrage			
Données							
...							

L'entête classique, sans options, fait 20 octets.



Des adresses IP pour le routage





## Routage - Généralités

### Le routage

Les routeurs font du routage selon l'adresse du **réseau** destinataire (et non l'hôte destinataire).

### Les algorithmes

Algorithmes plus ou moins sophistiqués (parcours dans un graphe dynamique).

### Acheminement

Tous les hôtes impliqués dans l'acheminement doivent résoudre le problème du routage pour chaque paquet à expédier : à qui envoyer ce paquet ? Ici, tous les hôtes impliqués sont l'hôte expéditeur et tous les routeurs intermédiaires, jusqu'au dernier routeur localisé sur le même réseau que l'hôte destinataire.

## Remarques :

- Ne pas oublier que chaque acheminement hors du réseau local implique un acheminement local (le routeur local).
- La commande **netstat -r** permet de visualiser la table de routage.
- Cette table peut être statique ou dynamique (cf. chapitre Routage).

## Table de Routage - Exemple

### Tables de routage

Un hôte dans un réseau local de technologie ethernet, avec un seul routeur vers le monde extérieur aura une table de routage de cette forme :

Destination	Contact	Interface
201.202.203.0	direct	eth0
autre	201.202.203.1	eth1

≡ Passerelle  
dans l'affichage des  
tables.

## Réseau local

Pour contacter tout hôte du réseau local, pas besoin d'un intermédiaire ; on envoie les paquets directement au destinataire, en les expédiant sur la carte réseau dont l'adresse est *eth0*.

## Autre réseau

Pour contacter tout autre hôte, expédier le paquet vers la machine dont l'adresse réseau est 201.202.203.1, toujours par la carte réseau d'adresse *eth0*.

## Des Problèmes en perspective

### Les problèmes

La table de routage donne l'adresse réseau du contact. Or l'adresse du destinataire dans le paquet de la couche réseau **doit** être celle du destinataire final, de bout en bout !

Il faudra disposer de l'adresse physique du routeur, c'est-à-dire l'adresse physique correspondant à l'adresse réseau **201.202.203.1**.

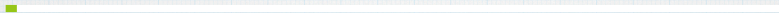
Même dans le cas d'un contact direct, on ne dispose que de l'adresse réseau du destinataire.

### Les solutions

Dans tous les cas, à la fin de l'algorithme de routage, on obtient comme résultat une adresse réseau (routeur ou destinataire final).

Il faudra obtenir l'adresse physique si on veut acheminer ce paquet.

## Les adresses physiques



## Adresses MAC

### Définition

Une adresse MAC est un identifiant de 12 chiffres hexadécimaux attribué à chaque carte réseau : c'est une adresse physique

Par convention on place des : tous les 2 chiffres

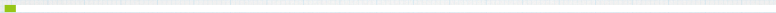
### EXEMPLE :

12 :34 :56 :78 :91 :BC

Dans un même sous réseau, la communication entre machines est possible avec des adresse MAC.



## Les serveurs de noms : du nom aux adresses



## Serveurs de Noms

C'est une des premières applications importantes quoique invisible dans les réseaux.

### Le problème

Connaissant le nom d'un hôte, trouver son adresse. Elle est indispensable si l'on veut construire un paquet qui lui est destiné.

### Principe

Une base de données distribuée, où chaque administrateur mettra à jour les données relatives à son réseau. Il mettra en place une application appelée serveur de noms (DNS) qui répondra à chaque requête contenant un nom, par l'adresse correspondante.

## Algorithme de recherche

### Généralisation du problème

Connaissant une caractéristique d'un hôte, trouver toutes les informations enregistrées à son sujet.

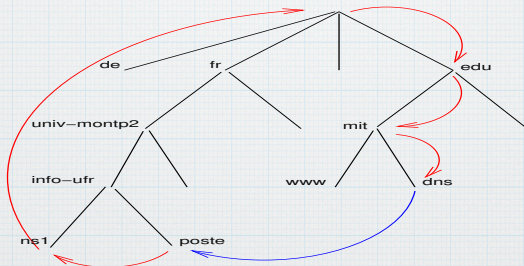
### Algorithme de recherche

Basée sur une recherche en arbre plutôt originale.

### Principe de l'algorithme

Un hôte demande à son serveur de noms local les coordonnées globales pour un nom d'hôte. Pour toute réponse concernant un hôte non local, le serveur doit disposer d'au moins une adresse d'un serveur extérieur qui donnera la réponse ou pourra faire suivre la requête.

## Serveurs de noms - Exemple



## Solution simple

Disposer d'au moins une adresse d'un serveur racine.

## Exemple simple

Un utilisateur navigant sur `g12@info-ufr.univ-montp2.fr` veut contacter `www.mit.edu`.

L'application locale va adresser la requête au serveur de noms local (**ns1** sur la figure).

**ns1** ne dispose que de la base locale (tous les noms et adresses des machines que l'administrateur veut rendre visibles à l'extérieur), et d'une adresse d'un serveur racine.

## Recherche en arbre

Le serveur racine connaît uniquement les serveurs de noms de premier niveau. Dans cet exemple, celui du domaine edu. Celui-ci connaît à son tour les serveurs de noms des domaines d'un niveau en dessous et ainsi de suite.

## Chemin inverse

Le serveur du domaine **mit** répondra, sans avoir à suivre le chemin inverse.

**Question** : pourquoi ?

L'adresse source est dans le paquet. .