

## Modules Réseaux S2

*R2.04 et R2.05  
BUT Informatique  
2022 – 23*

## Organisation : deux modules

- **R2.04 : Communication et fonctionnement bas niveau**
  - 5h CM + 6 x 3h TDM
  - **Architectures** de réseaux et notion de pile protocolaire (modèles OSI et TCP/IP)
  - **Technologie** des réseaux locaux : Ethernet, Wifi, adressage, routage ...
  - **Commutation et transport**
  - Initiation à l'**installation et configuration d'un réseau**

## Organisation : deux modules

- **R2.05 : Introduction aux services réseaux**
  - 3h CM + 9h TDM  
(+ 8h TDM → protocole HTTP dans le MR203)
  - Bases des **services réseaux** et architectures **client-serveur** (exemple du HTTP)
  - **Applications clientes réseau** et mise en place sur une machine virtuelle : messagerie, transfert de fichiers, terminal virtuel, répertoires partagés ...

## Évaluation

- Évaluation des TD via les comptes-rendus sur GitLab
- Complétée par la **SAÉ 2.03**  
(Installation de services réseau)
- **TPS** en fin de modules
- **AIDE-MÉMOIRE** manuscrits autorisés !

## Sites à consulter :

- Le wikilivre « Les réseaux informatiques »  
sur <https://fr.wikibooks.org>
- « Les systèmes d'exploitation des ordinateurs »  
de Laurent Bloch <https://laurentbloch.net>  
(Chapitre 6 Réseaux)  
<https://laurentbloch.net/MySpip3/Systeme-et-reseau-histoire-et-technique>

## En préambule

Le site des cours et sujets de TD :



Un « Chapitre zéro » : tableau des différents équipements réseaux et de leurs caractéristiques

## Chapitre 1 : Notions de base Internet, TCP/IP, adresses IP

en partie librement adapté  
d'un article de Laurent Viennot, chercheur Inria

### Plan du chapitre :

1. Circulation de l'information
2. Modèles et protocoles, OSI et TCP/IP
3. Aperçu des adresses de réseau : IPv4

## I. Circulation de l'information

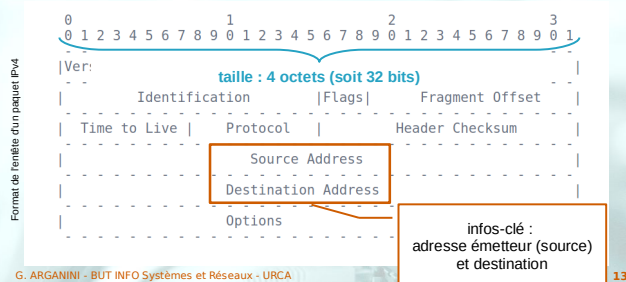
### 1) Qu'est-ce qui circule ?

- des « **paquets** » d'information
- transportés **indépendamment** les uns des autres
- sur un réseau reliant **plusieurs centaines de milliers de réseaux** (et des millions de machines)

### Qu'y-a-t-il dans un paquet IP ?

- Défini par l'**Internet Protocol**
- Résultat du « découpage » des données
  - environ 1000 octets de données
  - et des infos pour les envoyer au bon endroit !

## Qu'y-a-t-il dans un paquet IP ?



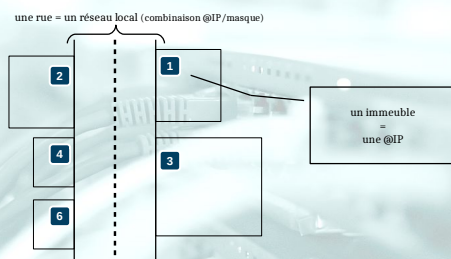
## 2) À l'intérieur d'un réseau

Deux principaux types d'adresse :

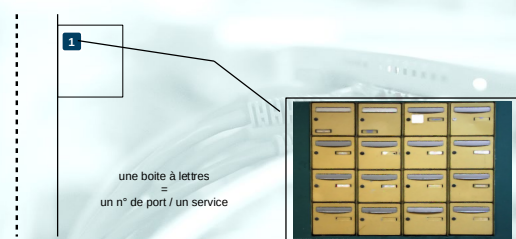
- Adresse « physique » : l'**adresse MAC**
  - Adresse relative à la carte réseau
  - Identifiant unique attribué à chaque carte réseau
  - Permet de communiquer seulement **au sein d'un sous-réseau connecté directement**
- Adresse réseau : l'**adresse IP**
  - Adresse relative au réseau
  - Seul moyen d'identification des machines **sur Internet** (au-delà du local)
  - Permet de définir des réseaux, des sous-réseaux ...

G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA 14

## Adresses IP : analogie urbaine



## Adresses IP : analogie urbaine

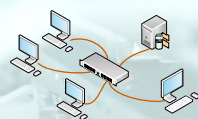


Par exemple, le port 80 pour le protocole HTTP ...

G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA 16

## En local :

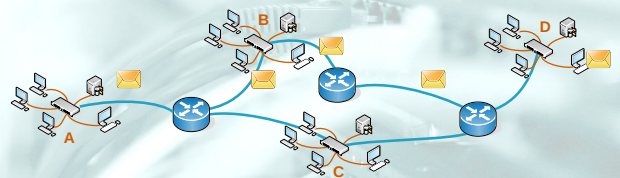
- Les machines sont reliées entre elles (hubs, commutateurs ...)
- Appartiennent toutes au **même réseau IP**
- Peuvent communiquer avec leurs adresses physiques



G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA 17

## 3) Pour sortir du réseau local :

- Les réseaux sont reliés entre eux par des **routeurs**
- Gèrent « l'aiguillage » des paquets



G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA 18

## Rôle d'un routeur

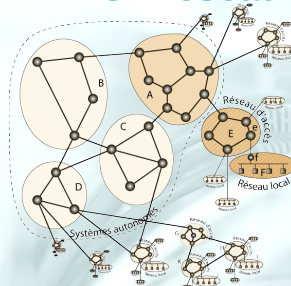
- Routeur  $\Leftrightarrow$  aiguilleur
  - Possède des liens avec d'autres routeurs
  - Branchés au routeur via une interface
- Fonctionnement :
  - (1) un paquet arrive sur une interface
  - (2) son en-tête est lu (et éventuellement modifié)
  - (3) le paquet est retransmis sur une autre interface

## Le routage : trouver son chemin

- Choix de l'interface de sortie  $\Leftrightarrow$  en-tête du paquet
- La **table de routage** donne pour une destination donnée l'interface où faire suivre le paquet :
  - du réseau A vers B  $\Rightarrow$  interface 2 du routeur
  - du réseau A vers C  $\Rightarrow$  interface 2 ou 3

Plusieurs chemins possibles ...

## Un réseau des réseaux



*Représentation schématique de la structure d'Internet*

Le réseau F est par exemple connecté au réseau E qui est lui-même un sous-réseau du système autonome A  
*idem* pour G, H, I, J, K

...  
On verra plus tard comment suivre des paquets avec traceroute ...

## II. Modèles et protocoles, OSI et TCP/IP

### 1) notion de protocole de communication

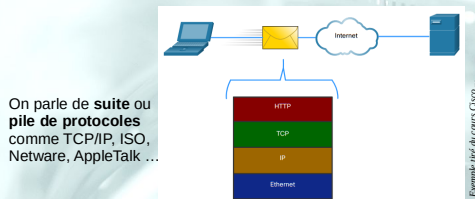
- **Format + ensemble de règles** d'échange des messages, communs entre les périphériques
- Sur un ou plusieurs réseaux
- La « famille Ethernet » comprend une variété de protocoles :
  - IP
  - Transmission Control Protocol (TCP)
  - HyperText Transfer Protocol (HTTP)
  - SNMP ...

### Les protocoles remplissent plusieurs fonctions

- Adressage (expéditeur et destinataire)
- Fiabilité (« garantie de livraison »)
- Contrôle de flux, séquençage des données (paquets)
- Détection des erreurs
- Présentation (couche application)
- ...

## Interaction entre protocoles

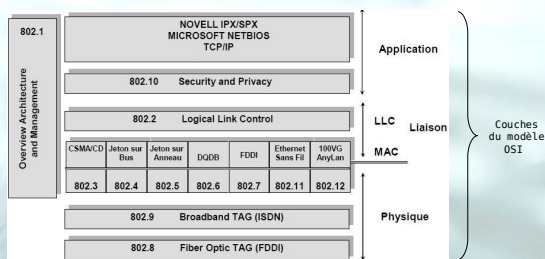
- Plusieurs protocoles collaborent pour l'envoi d'information sur un réseau :



## 2) des normes pour tout organiser : la "famille" IEEE 802

- Famille de normes** relatives aux **réseaux locaux (LAN)** et **métropolitains (MAN)**
- Protocoles de niveau inférieur** pour les couches **physique** et **liaison de données** du modèle **OSI**
- Transmission de données numériques par des **liaisons filaires ou sans fil**

## La "famille" IEEE 802

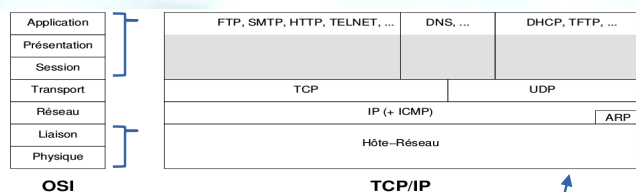


## Les normes IEEE 802.x

- 1 : Gestion des réseaux locaux, VLAN (802.1Q), authentification, etc.
- 2 : Distinction entre sous-couches liaison et physique (en hibernation)
- 3 : Normes Ethernet (gestion des accès multiples avec collision ; selon les supports et leurs nombreuses évolutions)
- 4 : jeton sur bus (Token Bus et AppleTalk ; disparu)
- 5 : jeton sur anneau (Token-Ring)
- 6 à 10 : diverses technologies MAN (disparues ou obsolètes ; modernes : RIPv2, FDDI ...)

802.11 : WLAN (Wifi)  
 ⇒ plusieurs normes de transmission (fréquence, débit, portée du signal radio ...)  
 802.15 : WPAN (Wireless Personal Area Network : principalement le Bluetooth)

## 3) les modèles de référence : OSI et TCP/IP



Le modèle : 7 couches

L'implémentation réelle : 4 couches

## Rôle des couches TCP/IP

Couche du modèle TCP/IP	Description
4 - Application	Représente les données pour l'utilisateur, ainsi qu'un codage et un contrôle du dialogue
3 - Transport	Prend en charge la communication entre plusieurs périphériques à travers divers réseaux
2 - Internet	Détermine le meilleur chemin à travers le réseau
1 - Accès réseau	Contrôle les périphériques matériels et les supports qui constituent le réseau



## Architecture logicielle réseaux

- Des équipements très variés communiquent.
  - OS différents
  - CPU différents
  - Architectures différentes

⇒ **Protocoles réseaux universels** nécessaires !

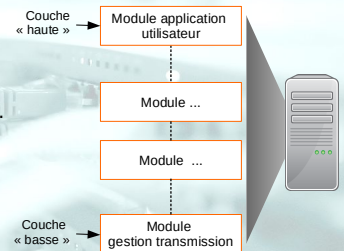


## Architecture modulaire par couche

- Conception logicielle monobloc impossible :

- Complexité, source d'erreurs de conception ...
- Changements matériels ⇒ modif de tout le code ...

⇒ **Découpage logiciel en modules**

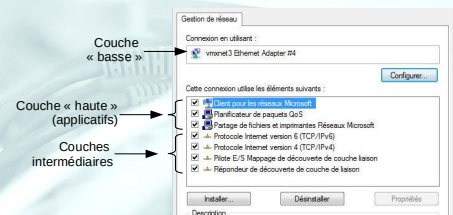


## Architecture modulaire par couche

- Une application** à développer = **une couche logicielle** seulement :
  - couche application transfert de fichiers
  - couche application courrier électronique
  - couche application navigateur web ...
- Un nouveau périphérique** de transmission = **une couche logicielle** seulement :
  - couche gestion modem ADSL
  - couche gestion carte Ethernet
  - couche gestion carte sans fil ...

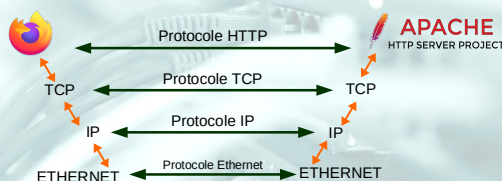
## Architecture modulaire par couche

- Exemple : architecture Windows :



## Architecture modulaire par couche

- Pour chaque couche, un langage (protocole) pour dialoguer ...



## 4) chaque couche ajoute ses propres données pour son protocole

⇒ **ajout d'entêtes pour passer d'une couche à l'autre ...**

- Les données élaborées dans les applications (couches hautes) doivent être **encapsulées** ...
  - pour **transiter** sur le support physique ...
  - au travers des différentes couches TCP/IP** ...
  - en ajoutant les **informations nécessaires pour acheminer** les données suivant la suite de protocoles

- Chaque couche **rend un service** à la couche de niveau supérieur :

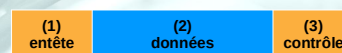
- SDU : Service Data Unit
- PDU : Protocol Data Unit

exemple :



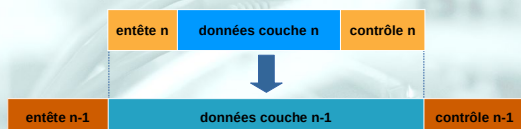
## Ajout des entêtes = encapsulation

- (1) **Entête** contenant des adresses permettant d'acheminer le paquet
- (2) **Données** à transmettre
- (3) **Données de contrôle**, permettant de contrôler la validité des données



## Encapsulations successives

- Au cours du transport → plusieurs encapsulations permettant l'adaptation aux supports (*entre autres*)
- On rajoute des infos supplémentaires ...



## 5) détail du rôle de chaque couche OSI

### • Couche physique

- Conversion des données en signaux physiques adaptés au média
- N'ajoute pas d'en-tête



## 5) détail du rôle de chaque couche OSI

### • Couche liaison de données (trames Ethernet) :

- Accès au média
- Repérage des erreurs et élimination (ou correction)
- Contrôle de flux (si nécessaire)
- Adresse physique

## 5) détail du rôle de chaque couche OSI

### • Couche réseau (paquets IP) :

- Permet de déterminer la route à suivre
- Adresse logique

### 5) détail du rôle de chaque couche OSI

- **Couche transport** (segments / datagrammes) :
  - Gestion des erreurs
  - Découpage et ordre des messages
  - Contrôle de flux (p.ex. streaming)
  - En mode connecté ou non

TCP

UDP

### 5) détail du rôle de chaque couche OSI

- **Couche session** :
  - Ouverture de session
  - Arrêts et reprises
  - Fermeture de session

SMB

NetFS

### 5) détail du rôle de chaque couche OSI

- **Couche présentation** :
  - Format unique des données, codage/conversion
  - Confidentialité (cryptage)

ASCII,  
UTF ...

SSL/TLS

### 5) détail du rôle de chaque couche OSI

- **Couche application** :
  - Service réseau offert à l'utilisateur

Linux  
vsFTP

SAMBA

APACHE  
HTTP SERVER PROJECT

DNS  
BIND

sendmail.org

## III. Systèmes d'adressage IP

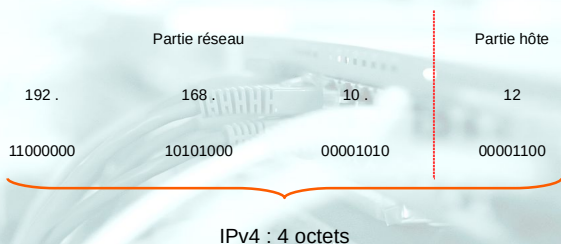
Aperçu des adresses de réseau IPv4

### Adresse logique ou adresse réseau : la couche 3

- **Adresse IP** ⇔ **couche 3** ou couche réseau
- Utilisée pour acheminer les paquets IP de la source à la destination
- Sur un même **réseau local** ou à **distance**
  - Partie « réseau » et partie « hôte » de l'@IP



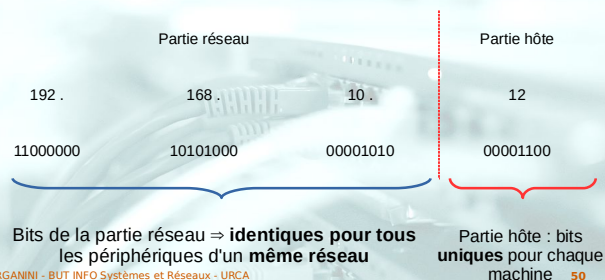
## Parties réseau et hôte



G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

49

## Parties réseau et hôte

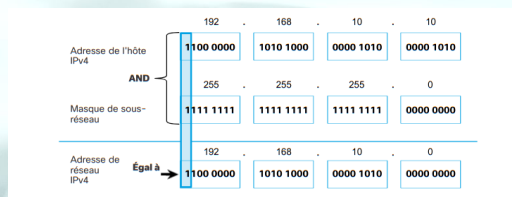


G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

50

## Calcul de l'adresse réseau

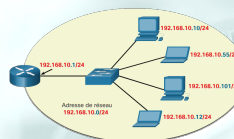
Rappel du S1 ...



G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

51

## Réseau, hôte et adresses de diffusion



- Diffusion = broadcast
- Tous les bits de la partie hôte à 1
- Atteindre tous les hôtes du réseau !
- Ici l'adresse de diffusion est :

**192.168.10.255**

G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

52

## 1) adressage avec classes

- Ethernet (adresses MAC) → réseau local
- Adresses IP → passage d'un réseau à l'autre
- Nécessite table de correspondance (table arp)

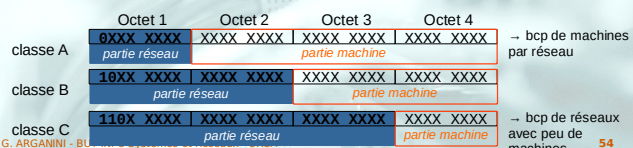
```
C:\>arp -a
Interface : 10.68.1.10 --- 0xa
Adresse Internet  Adresse physique  Type
10.68.1.13        e4-11-5b-38-13-7b  dynamique
10.68.1.27        00-26-b9-c3-fc-8f  dynamique
10.68.1.42        00-23-7d-7e-09-0d  dynamique
10.68.1.50        54-42-49-09-04-a2  dynamique
10.68.1.254       00-23-34-05-fa-52  dynamique
```

G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

53

## Les 3 classes :

- A la création d'IP, 3 catégories (classes) d'adresses réseau ont été prévues.
  - La classe A, 1 octet réseau, 3 octets machine
  - La classe B, 2 octets réseau, 2 octets machine
  - La classe C, 3 octets réseau, 1 octet machine



G. ARGANINI - BUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

54

## Les 3 classes (2) :

- Le **premier octet** permet de connaître la classe :
  - De 0 à 127 (0xxx xxxx), c'est une classe A
  - De 128 à 191 (10xx xxxx), c'est une classe B
  - De 192 à 223 (110x xxxx), c'est une classe C
- Si tous les octets « machine » sont à 0, l'adresse IP désigne l'adresse du réseau ; exemples :

22.125.0.0

87.248.222.0

192.168.1.0

## Les 3 classes (3) :

- Si tous les octets « machine » sont à 255, l'adresse IP désigne un **broadcast** réseau :

22.125.255.255

87.248.222.255

192.168.1.255

- Pour séparer la partie adresse réseau de la partie machine, on utilise le **masque de sous réseau** :

- Classe A : 255 . 0 . 0 . 0 ou /8 (1 octet dans le masque)

- Classe B : 255 . 255 . 0 . 0 ou /16

- Classe C : 255 . 255 . 255 . 0 ou /24

## Les 3 classes (4) :

- Une machine ne peut communiquer qu'avec les machines qui sont sur le **même réseau IP**

→ **nécessité d'un routeur entre 2 réseaux IP !**

## 2) le routage sans classe ou CIDR

- CIDR = *Classless Inter-Domain Routing*
- Technique utilisée dès 1994 (basée sur RFC1517, RFC1518, RFC1519 et RFC1520)
- **Objectif** : s'affranchir de la notion de classe
  - **Masque réseau de longueur variable** (*Variable Length Subnet Mask* ou VLSM)

## 2) le routage sans classe ou CIDR (suite)

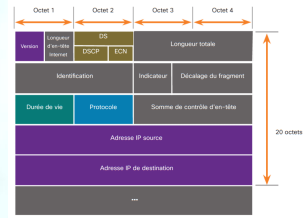
- Un réseau peut être découpé en **sous-réseaux**, qui à leur tour peuvent être découpés en sous-réseaux, etc.
- Le masque est différent (de longueur variable) et se note sous la forme /n
- **Rendez-vous en TD !!!**

## IV. Évolution du protocole : IPv6

## 1) Limitations d'IPv4 et évolution vers IPv6

- Adresses IPv4 codées sur **32 bits** → **2<sup>32</sup> @IP** maxi  
⇒ **épuisement des @IP** dispo en 2019
  - Contourné par la NAT\* (voir au S3 !)
  - Et par les **masques variables CIDR**
- IPv6** ⇒ **Espace d'adressage accru** : 128 bits d'adresse
  - De l'ordre de **10<sup>36</sup> adresses** >> IPv4 (4x10<sup>9</sup>)
- En-tête IPv6 simplifié** ⇒ + rapide
- Élimine le besoin de NAT\*

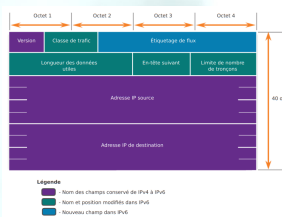
## Pour comparer : champs d'entête IPv4



13 champs d'entête IPv4  
G. ARGANINI - DUT INFO Systèmes et Réseaux - URCA

- DS** : priorité de chaque paquet
- Longueur totale, somme de contrôle ⇒ **détection d'erreur**
- Identification** ⇒ (dé)fragmentation
- Durée de vie** = TTL ⇒ décrémente par chaque routeur
- Protocole** : type de données transportées (couche 4 : ICMP, TCP, UDP ...)

## En-tête simplifié avec IPv6



8 champs d'entête IPv6

- En-tête simplifié** :
  - Certains champs supprimés ...
  - En-tête de longueur fixe** de 40 octets
- Adresse sur 128 bits !** (contre 32 en IPv4)
- Pas de somme de contrôle d'en-tête ⇒ pas de recalcul à chaque routeur !

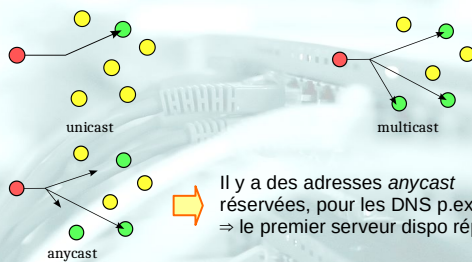
## 2) Les différents types d'adresses IPv6

3 grandes catégories d'adresses IPv6 :

- Monodiffusion** → identifie une interface de façon unique
- Multidiffusion** → pour envoyer un seul paquet IPv6 vers plusieurs destinations (*diffusion multipoint*)
- Anycast** → adresse de m... attribuée à plusieurs périphériques  
⇒ paquet acheminé vers le plus proche ayant cette adresse

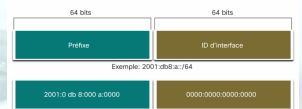
**Pas de broadcast !!!**  
⇒ on utilise la multidiffusion

## 2) Les différents types d'adresses IPv6 (en images)



## 3) Format des adresses IPv6

**128 bits** divisés en 2 parties :  
- le **préfixe** = « partie réseau »  
- l'**ID d'interface** = « partie machine »



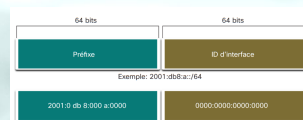
Le **préfixe** peut comprendre une partie « sous-réseau »

#### 4) Préfixe IPv6 : partie réseau

Longueur du préfixe IPv6 indique la partie réseau de l'adresse IPv6 :

- La longueur de préfixe peut être comprise entre 0 et 128
- Longueur recommandée : /64 (réseaux locaux en particulier)

#### 4) Préfixe IPv6 : partie réseau



- /64 laisse **64 bits pour l'ID d'interface** = partie hôte de l'adresse
- Recommandé car utilisé par les adresses **SLAAC** (configuration automatique d'adresse sans état = sans serveur)

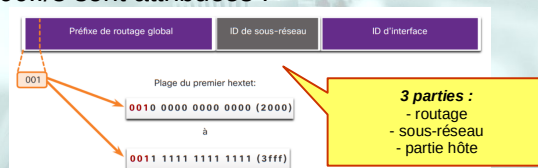
#### 5) Adresses de monodiffusion...

Il y a différents types d'adresses de monodiffusion IPv6 !!!

- **Monodiffusion globale** = Adresse **GUA** (Global Unicast Addr)  
→ **publique**, unique au monde et routable sur Internet
- **Monodiffusion locale** = Adresse **LLA** (Link-Local Addr)  
→ pour communiquer avec d'autres équipements **sur la même liaison locale** (= sous-réseau)

#### 6) Adresses de diffusion globale (GUA)

- Uniques au monde et routables (= publiques)
- Actuellement, seules des GUA commençant par 2000::/3 sont attribuées :



#### 6) Adresses de diffusion globale (2) : structure

- **Préfixe de routage global** → fourni par le FAI
- Par ex. : **2001:0DB8:ACAD::/48**
  - **48 premiers bits** = préfixe ou partie réseau de l'adresse
  - :: ⇔ rempli par des zéros

#### 6) Adresses de diffusion globale (3) : structure

- **ID de Sous-Réseau** → définit le nb de ss-réseaux ...
  - Pas d'emprunt à la partie hôte de l'@IP
  - Dans notre exemple : 16 bits ⇒  $2^{16}$  ss-réseaux !
- **ID de L'interface** ⇔ partie hôte IPv4
  - $2^{64}$  adresses possibles par réseau ⇒  **$2^{16} \times 2^{64}$  en tout !\***
  - Pas de restrictions « tout-un » ou « tout-zéro »  
[0::0 réservée aux routeurs]

## 7) Adresse link-local IPv6 (LLA)

- Pour communiquer **sur la même liaison** et uniquement sur cette liaison (sous-réseau)
- Peut être créée automatiquement (p.ex. --@MAC)
- Dans la plage **fe80::/10**  
/10 → les 10 premiers bits sont 1111 1110 10xx xxxx
- Souvent utilisée comme *passerelle par défaut*

## Licence Creative Commons BY-NC-SA

Ce document est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons

Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale  
Partage dans les Mêmes Conditions 2.0 France  
(CC BY-NC-SA 2.0 FR)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/>

