

Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique



MODULE RÉSEAUX INFORMATIQUES

II₂

Année universitaire: 2014/2015

Plan du Cours

- Introduction aux réseaux informatiques
 - ❖ Les types de réseaux
 - ❖ Architectures d'interconnexion
 - OSI
 - TCP/IP
 - ❖ Rappels – couche physique
 - ❖ Rappels – couche liaison
 - ❖ Les réseaux étendus & les technologies associées
- **La Couche Réseau**
 - Normes
 - Adressage (IP, OSI)
 - Fragmentation
 - Routage: Algorithmes et Protocoles (ARP, RIP, OSPF, ...)
 - Contrôle de congestion

Plan du Cours (suite)

- La couche de transport
 - ❖ Les protocoles de transport
 - Structure
 - Les protocoles de transport ISO
 - UDP
 - TCP
 - ❖ Mécanismes de contrôle de congestion
- La couche session
- La couche présentation
- La couche application

Chapitre 2

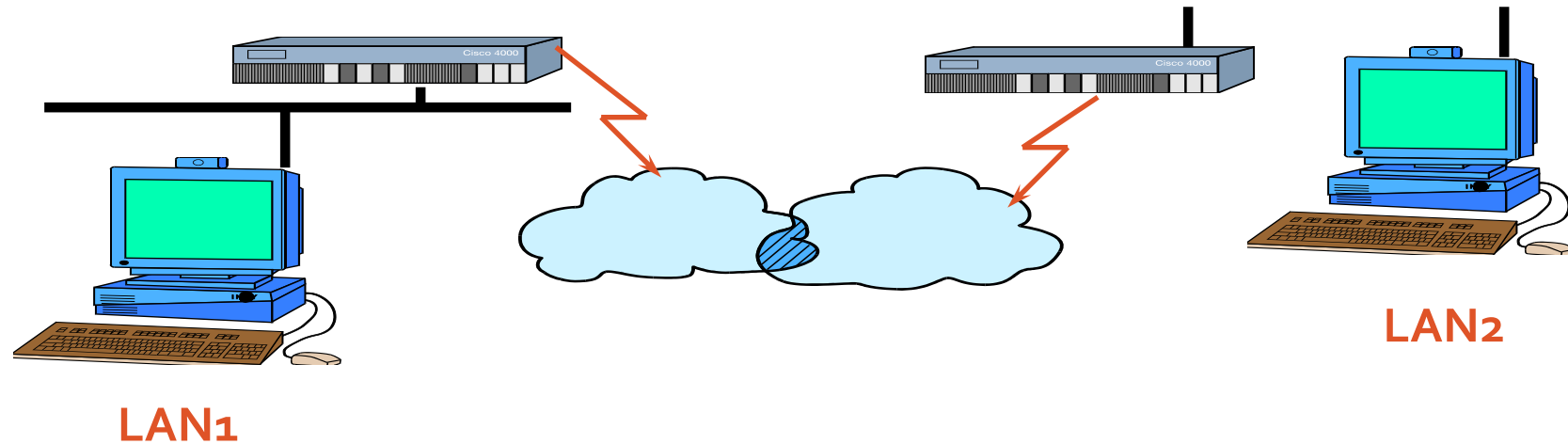
Couche réseaux

Couche réseaux

- Objectifs:
 - Service Réseau indépendant de la technologie sous-jacente
 - Topologie physique masquée à la couche transport et celles supérieures
 - Plan d'adressage global et uniforme
- Fonctions de la couche réseaux:
 - Routage: trouver un chemin entre source et destination (Algorithmes de routage)
 - Réexpédition (forwarding): placer les paquets arrivant sur une liaison d'entrée vers une liaison de sortie appropriée
 - Adressage: nommage des machines
 - Fragmentation: réseaux traversés
 - Contrôle de congestion et initialisation de connexion

Inter-Network

- Plusieurs LANs et/ou WAN **incompatibles** peuvent être connectés par des routeurs → Ces réseaux connectés sont appelés **internetworks** (e.g. Internet)
- Internetworks: C'est l'ensemble des moyens permettant à différents utilisateurs reliés à différents réseaux autonomes (LAN ou WAN) de communiquer entre eux.



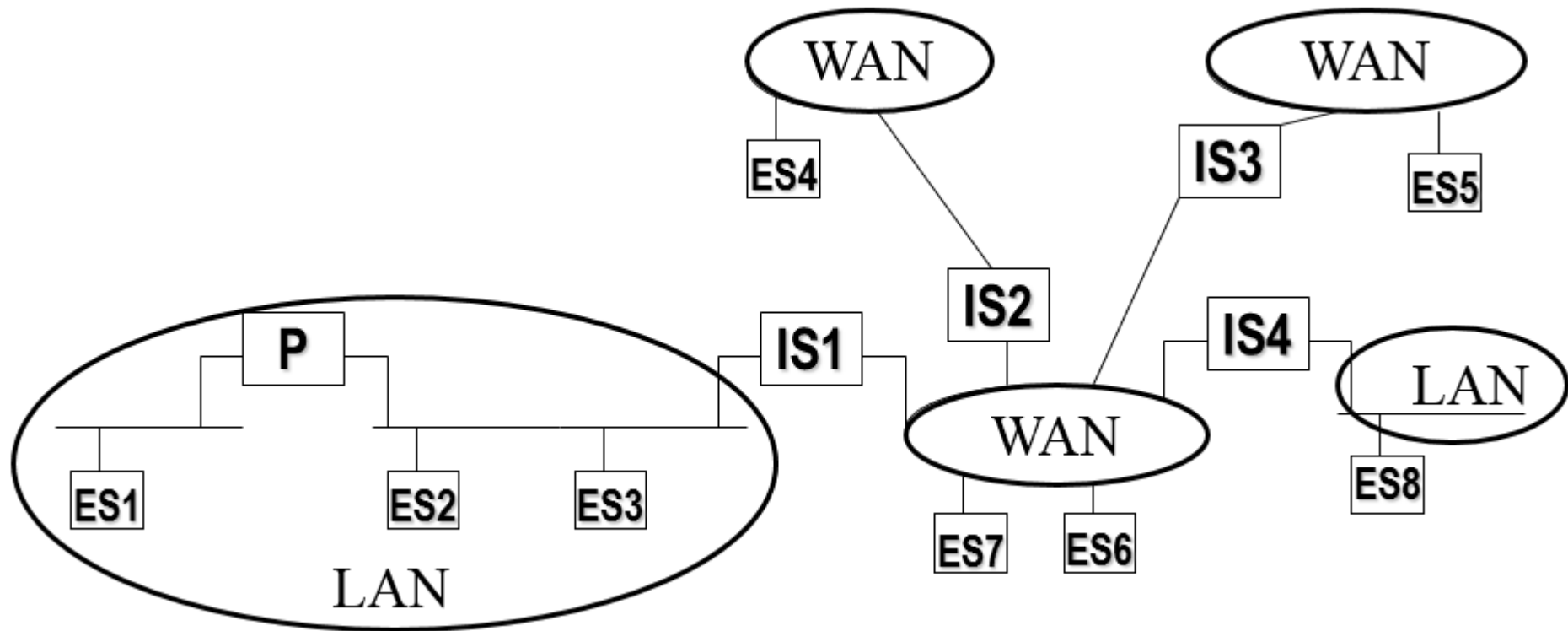
- LAN 1 et LAN 2 peuvent être deux réseaux locaux complètement différents et incompatibles (exp. Ethernet et ATM)

Inter-Network

- Objectif d'un InterNetwork
 - Assurer une connectivité de bout en bout "End-to-end"
 - Assurer une continuité et une intégration de la communication en fournissant une vision abstraite de l'« internetwork » indépendante de la topologie physique ou logique
 - Fonctionner dans un environnement hétérogène
 - « Scalable »: passage à grande échelle

Inter-Network

- Architecture
 - ES : « End System »
 - IS : « Intermediate System »



Inter-Network

- Problèmes posés dans le cas d'un internetwork
 - Le service réseau: des réseaux reliés à l'«internetwork» peuvent fonctionner en mode **connecté** et d'autres en **mode non connecté**
 - **Adressage**: chaque réseau a son propre adressage
 - **Routage**: entre réseaux
 - **Fragmentation**: la taille maximale des paquets diffère d'un réseau à un autre
 - **Qualité de service** différente d'un réseau à un autre
 - Contrôle de **flux** et de **congestion** : des mécanismes différents selon les réseaux
 - Indication des **erreurs**
 - Mode de fonctionnement (circuit virtuel ou datagramme): diffère d'un réseau à un autre ainsi la **taille de paquet**

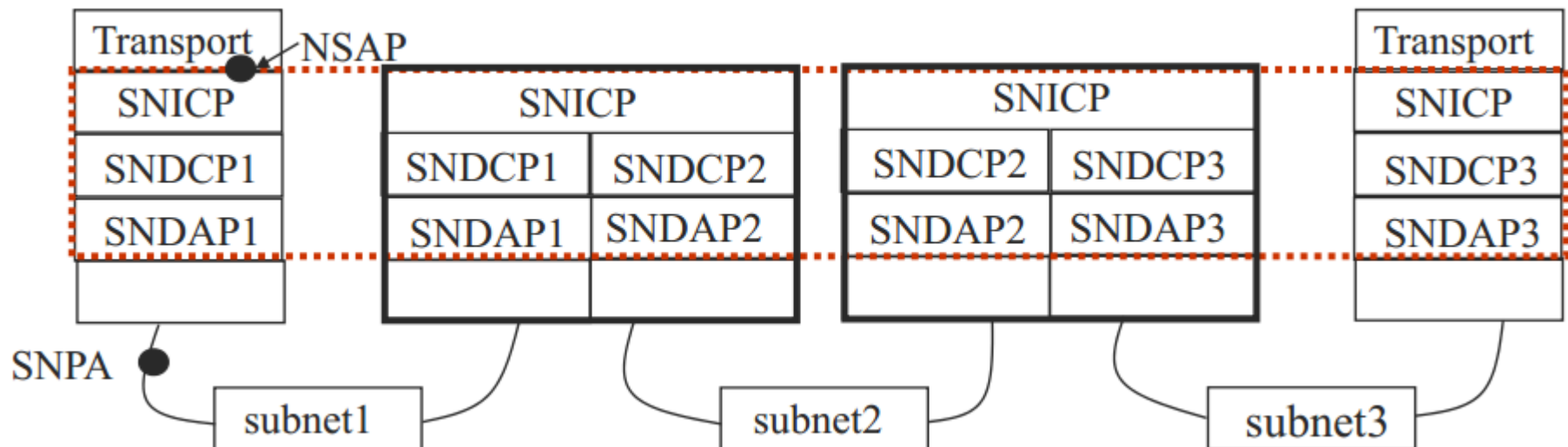
Inter-Network

- Circuit virtuel VS datagramme

Aspect	Datagramme	Circuit virtuel
Etablissement de circuit	Pas possible	Requis
Adressage	Chaque paquet contient l'@ source et celle destination	Chaque paquet contient un numéro de circuit
Information sur l'état	Pas de conservation des informations sur l'état du s-rx	Chaque circuit établi nécessite une connaissance d l'état du s-rx
Routage	Chaque paquet est acheminé indépendamment	Tous les paquets suivent le même chemin déterminé lors de l'établissement du CV
Effet d'un nœud défaillant	Aucun effet, sauf pour les paquets perdus pensant la défaillance	Terminaison de tous les CVs passant par le nœud défaillant
Contrôle de congestion	Difficile	Facile, si plusieurs buffers sont alloués en avance pour chaque CV
Complexité	Au niveau de la couche transport	Au niveau de la couche réseaux
Adapté à	Services en mode connecté/non connecté	Services orientés connexion

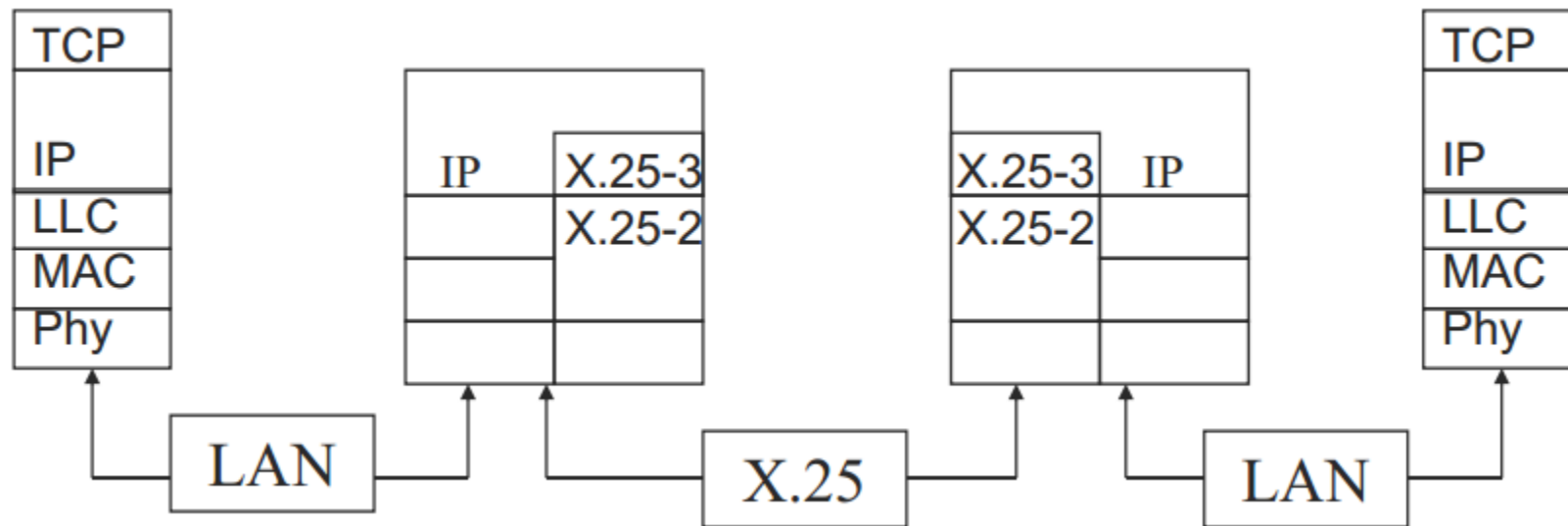
Inter-Network

- Structure de la couche réseau (IONL « Internal Organization of the Network Layer », ISO 8648)
 - SNICP "SubNet Independent Convergence Protocol" : protocole commun, fragmentation/réassemblage, routage (forwarding), ...
 - SNDAP "SubNet Dependent Access Protocol", spécifique à chaque "subnet", X25 ...
 - SNDCP "SubNet Dependent Convergence Protocol" : réalise les fonctions de correspondance entre SNICP & SNDAP en particulier la correspondance entre les adresses SNPA "SubNetwork Point of Attachment" et NSAP "Network Service Address Point" ...



Inter-Network

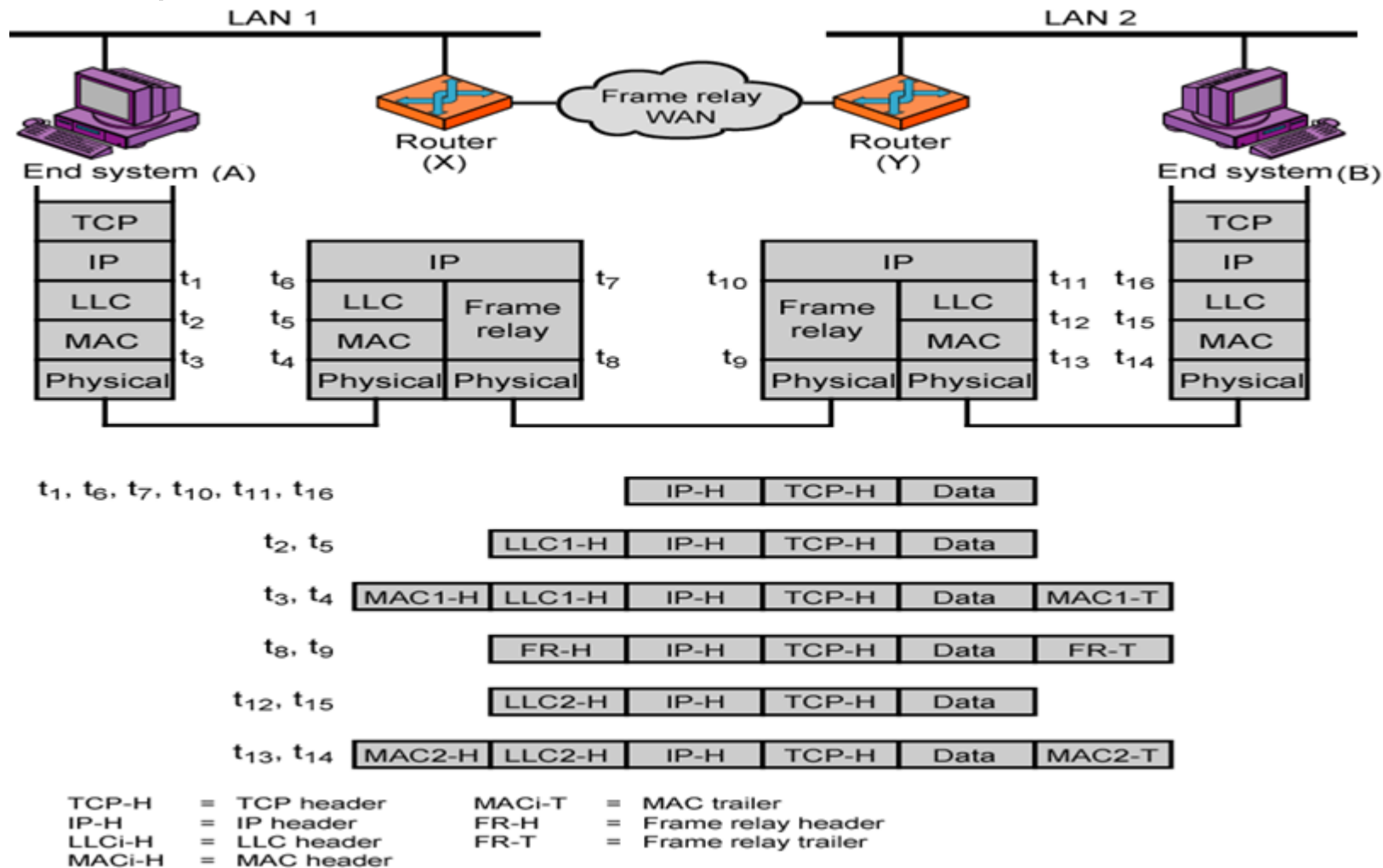
- Différentes implémentations existent qui présentent des points en commun avec ISO8648, exemple



- Le SNDCP et le SNICP se confondent dans IP
- Dans le cas du LAN, le service de la sous couche SNDAP se ramène à celui de LLC/MAC alors que sur le réseau X.25 il correspond à celui de X.25-3
- Rq: Le datagramme IP est encapsulé dans un paquet X25

Inter-Network

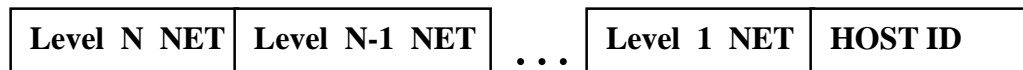
- Exemple d'implémentation



Adressage

- Adressage hiérarchique pour faciliter le routage
 - ❖ Adresse postale
 - Routage par *pays* : vers poste centrale
 - Routage par *code postal* : vers poste régionale
 - Routage par *avenue/rue/num* (facteur) : vers destination

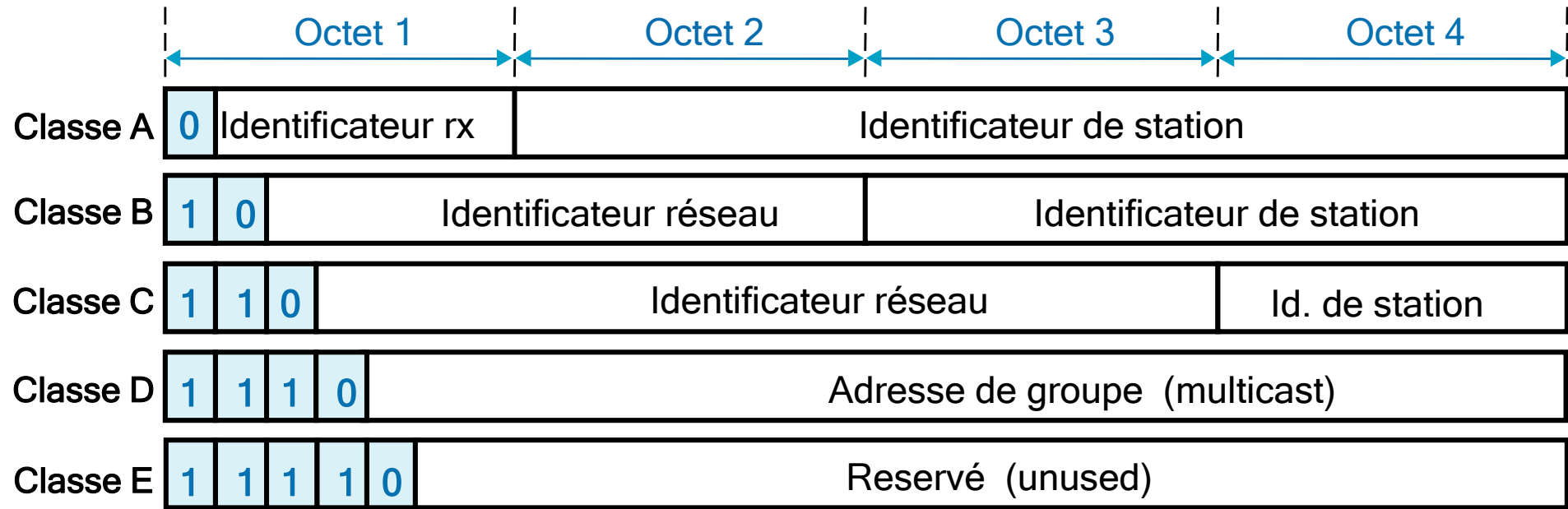
❖ Plusieurs niveaux hiérarchiques dans un réseau



- ❖ La hiérarchie pas nécessairement standardisée ; pour chaque réseau :
 - Le nombre de niveaux variable
 - La longueur des champs variable
- ❖ Inconvénients:
 - Structure interne d'un réseau est non transparente,
 - Pb. de densité,
 - Non adapté pour la mobilité
- ❖ Exemple: Adressage IP version 4: « identifiant réseau » « identifiant Hôte »



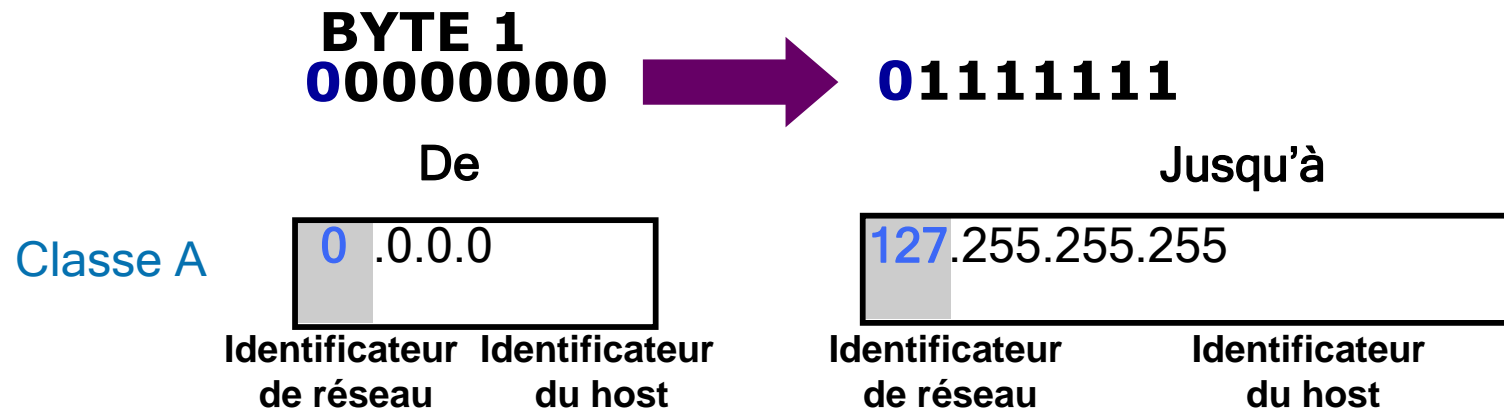
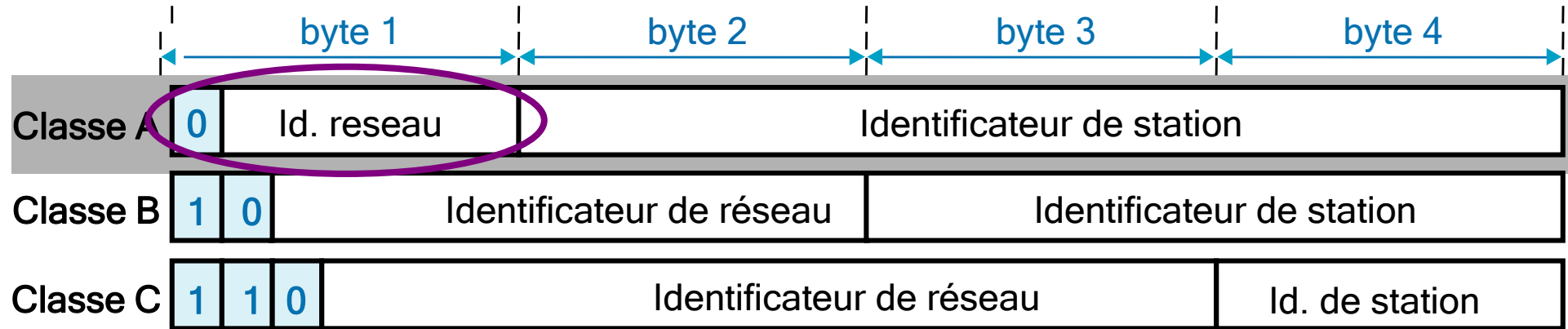
Adressage « IP version 4 »



Exemple: adresse de classe C

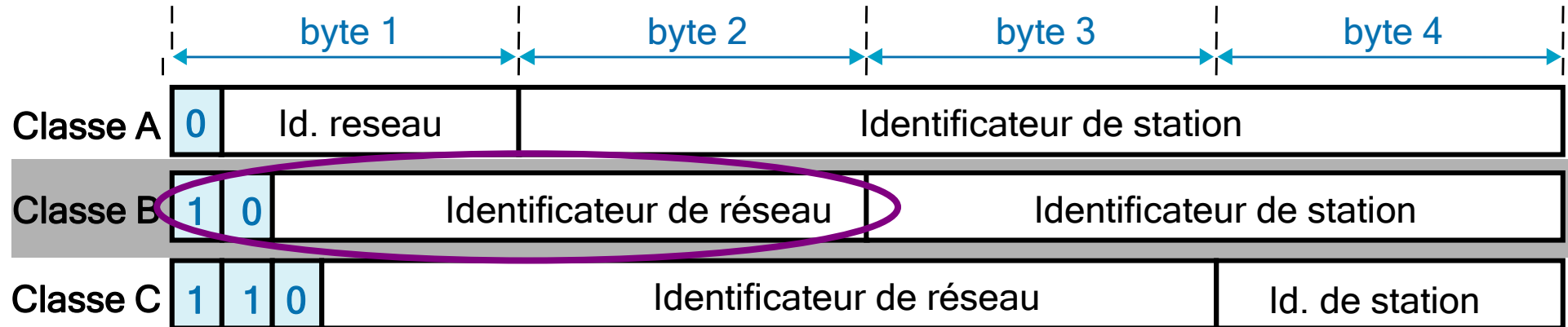
11000001 10010011 10001000 10111111
193.147.136.95

Adressage « IP version 4 »



- 128 réseaux x 2^{24} machines
- Pour les grand réseaux : US NSFNet (National Science Foundation Network)
- Aujourd'hui épuisée

Adressage « IP version 4 »



BYTES 1 et 2
10000000 . 00000000 → **10111111 . 11111111**

De

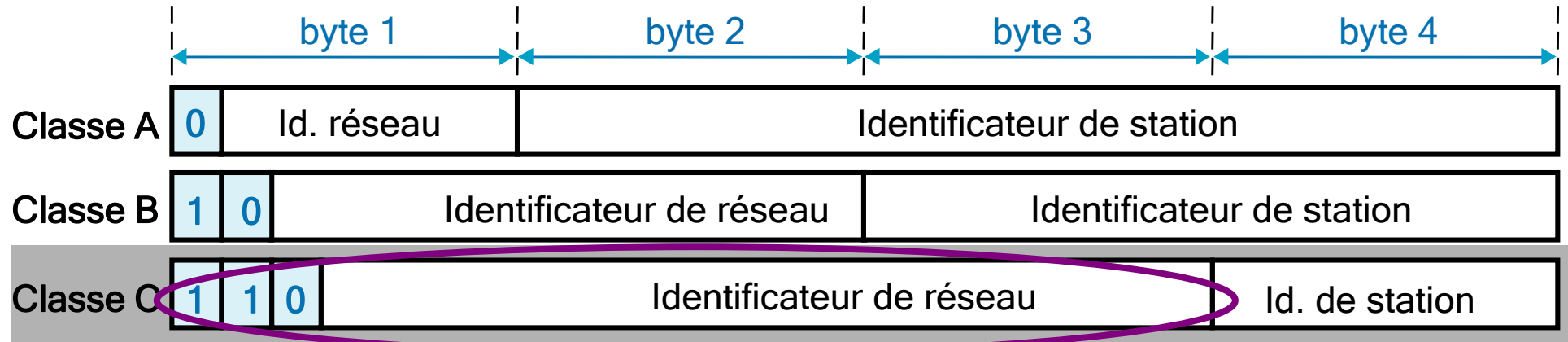
Jusqu'à

Classe B **128.0.0.0**
Identificateur de réseau Identificateur du host

191.255.255.255
Identificateur de réseau Identificateur du host

- 2^{14} réseaux x 2^{16} machines
- Organisations avec plus de 255 ordinateurs : universités

Adressage « IP version 4 »



BYTES 1, 2 et 3

11000000 . 00000000 . 00000000

11011111 . 11111111 . 11111111

De

Jusqu'à

Classe C

192.0.0.0

Identificateur
de réseau

Identificateur
du host

223.255.255.255

Identificateur
de réseau

Identificateur
du host

- 2^{21} réseaux x 2^8 machines
- Pour petites entreprises et autres types de réseaux

Adressage « IP version 4 »

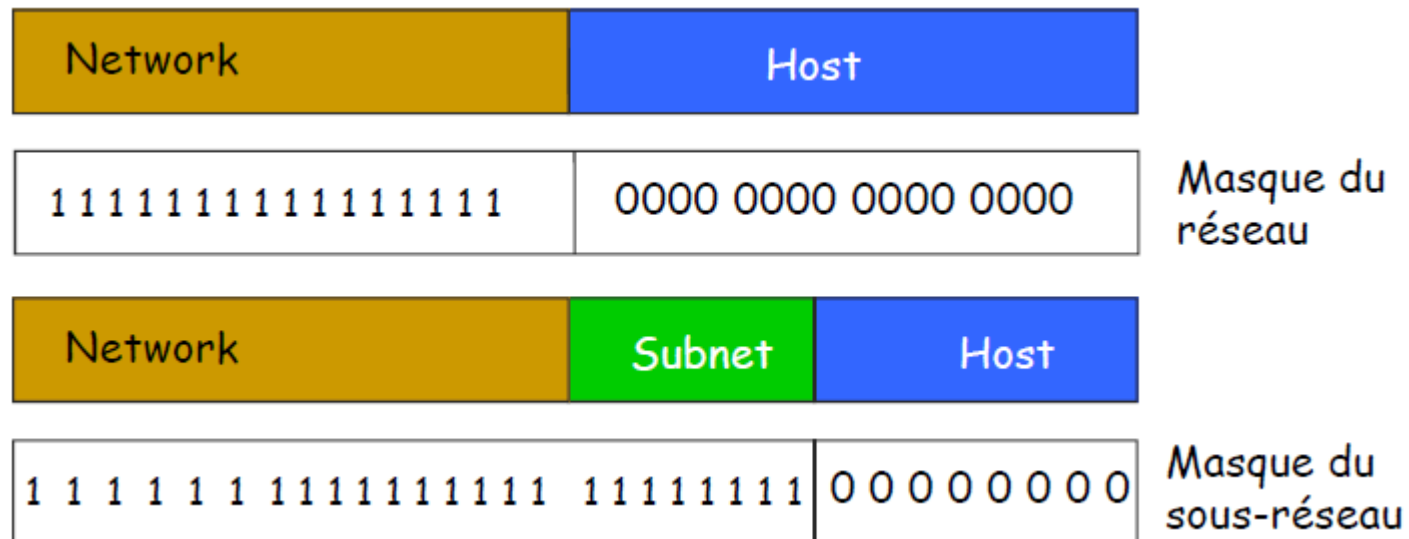
- Adresses classe A (2^{24} hosts)
 - Pour les grand réseaux : US NSFNet
- Adresses classe B (2^{16} hosts)
 - Organisations avec plus de 255 ordinateurs : universités
- Adresses classes C (2^8 hosts)
 - Pour petites entreprises et autre type de réseau
- Certaines adresses sont non utilisées, privées
 - Classe E inutilisée
 - Privées; 10.0.0.0, 172.16-31.0.0, 192.168.0-255.0

Adressage « IP version 4 »- Scalability

- Utilisation inefficace de l'espaces des adresses
 - ❖ Réseau classe C avec 2 hôtes (2/254)
 - ❖ Réseau classe B avec 256 hôtes (256/65534)
- Prolifération des réseaux
 - ❖ Aujourd'hui l'Internet compte des dizaines de milliers de réseaux
 - Les adresses presque sont épuisées
 - Taille des tables de routage augmente exponentiellement
 - Problème d'efficacité des protocoles de propagation des informations de routage
- **Solutions: Utilisation de masques de réseaux**
 - ❖ **Subnetting** (Sous réseaux)
 - ❖ **CIDR** (Classless Inter Domain Routing): dit aussi **supernetting**

Adressage « IP version 4 »-Subnetting

- Introduction d'un nouveau niveau à l'hiérarchie: **Subnet ou sous réseau**
- Le sous réseau (subnet) utilise les bits de poids fort de la partie hôte de l'adresse IP, pour désigner un réseau (le nombre de bits employés est laissé à l'initiative de l'administrateur)
- Le «*mask*» du «*subnet*» définit la partie variable du «*host ID*»
- Les «*subnets*» ne sont pas visibles à l'extérieur du réseau (avec le «*network ID*»)



Adressage « IP version 4 »-Subnetting

- Masque de réseau :
 - ❖ Indique la partie d'une adresse qui correspond à l'identifiant du réseau et la partie de l'adresse qui correspond au hôte
 - Mise à 1 de tous les bits id réseau
 - Mise à 0 de tous les bits id machine
- Masque de réseau par défaut

Classe	Bits du netmask	Notation netmask
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0 /8
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0 /16
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0 /24

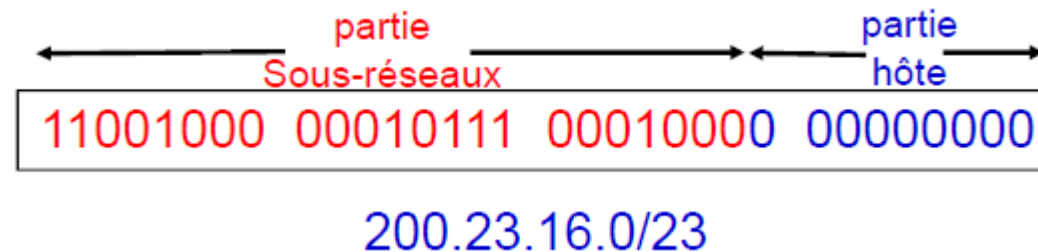
- Notation: /n (n bits du masque à 1)

Adressage « IP version 4 »-Subnetting

- Les masques de sous-réseau utilisent la même représentation que celles des adresses IPv4.
- L'adresse de sous-réseau est obtenue en appliquant l'opérateur ET binaire entre l'adresse IPv4 et le masque de sous-réseau.
- L'adresse de l'hôte à l'intérieur de sous-réseau est obtenue en appliquant l'opérateur ET entre l'adresse IPv4 et le complément à 1 du masque.
- Un masque est constitué (sous sa forme binaire) d'une suite de 1 suivie d'une suite de 0:
→ 32 masques de réseau possibles.

Adressage « IP version 4 » - CIDR

- *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR) est mis au point afin de diminuer la taille de la table de routage contenue dans les routeurs. Pour cela, on agrège plusieurs entrées de cette table en une seule.
- la totalité de l'espace d'adressage (32 bits) est gérée comme une collection unique de sous-réseaux indépendamment de la notion de classe → « Plus de classe » / Classless
- /n (Préfixe) : nb. de bits réservés à « network ID » (à 1 dans le masque)



- L'utilisation de *masque de longueur variable* (*Variable-Length Subnet Mask, VLSM*) permet le découpage de l'espace d'adressage en blocs de taille variable, permettant une utilisation plus efficace de l'espace d'adressage.
- Le nombre d'hôtes est $2^{32-n}-2$

Adressage« IP version 4 »-CIDR

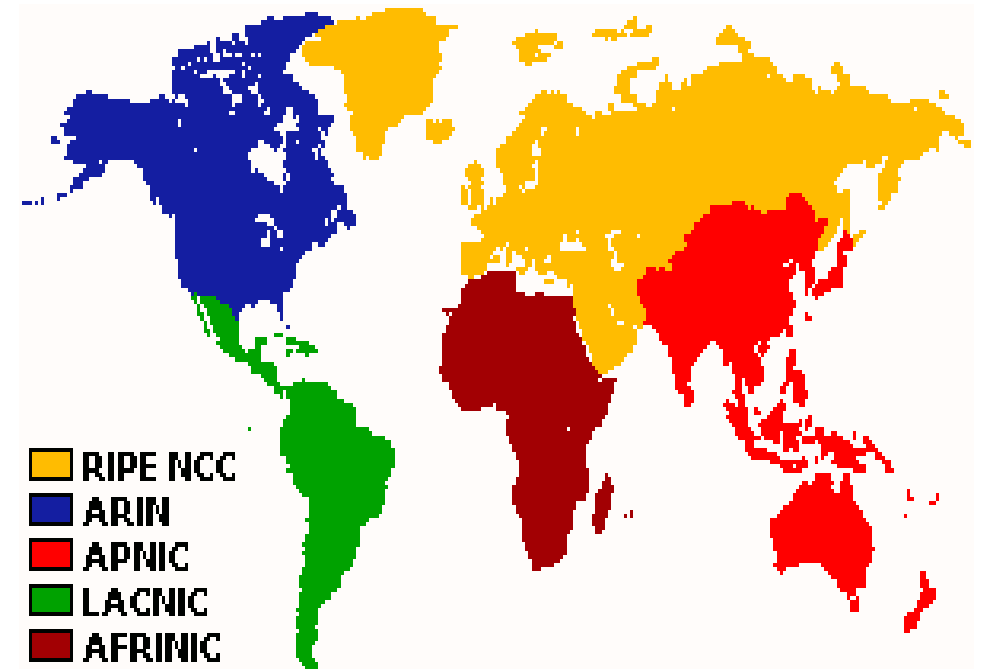
- Des sous plages d'adresses CIDR sont déléguées à des ISPs qui à leur tour divisent cette plage entre utilisateurs ou autres ISPs
 - ❖ Seule l'adresse de l'ISP sera visible à l'extérieur
 - ❖ Agrégation de plusieurs routes : une seule adresse peut représenter des milliers d'abonnés à un même ISP, l'acheminement final sera géré par l'ISP
- Exemple: un ISP peut ainsi se voir allouer un bloc **/19** (soit $2^{32-19} = 8192$ adresses) et créer des sous-réseaux de taille variable en fonction des besoins à l'intérieur de celui-ci : de /24 pour un réseau local de 200 ordinateurs. Seul le bloc /19 sera visible pour les réseaux extérieurs, ce qui réalise l'agrégation et l'efficacité dans l'utilisation des adresses.

Adressage« IP version 4 »-CIDR et subnetting

- Le masque sous-réseau permet de créer des sous-réseaux qui ne respectent plus le découpage en classes A, B, C.
- C'est le masque sous-réseau qui définit la limite des bits d'adressage du réseau, des bits d'adressage de la machine.
- Exemples :
 - ❖ 192.168.10.5/255.255.255.0 ou 192.168.10.5/24 ← 24 bits pour Rx sur 32
 - → 192.168.10.0 → 192.168.10.255
 - ❖ 192.168.10.5/255.255.255.128 ou 192.168.10.5/25 ← 25 bits pour Rx sur 32
 - → 192.168.10.0 → 192.168.10.127
 - ❖ 192.168.10.5/255.255.252.0 ou 192.168.10.5/22 ← 22 bits pour Rx sur 32
 - → 192.168.8.0 → 192.168.11.255
- Deux adresses IP appartiennent à un même sous-réseau si elles ont en commun les bits du masque de sous-réseau

Adressage IPv4-Allocation des adresses

- 5 Regional Internet Registry (RIR)
 - **ARIN**: American Registry for Internet Numbers
 - **RIPE NCC** Service Region: Réseaux IP Européens Network Coordination Center
 - **AfriNIC** Service Region: African Network Information Center
 - **APNIC** Service Region: Asia Pacific Network Information Center
 - **LACNIC** Service Region: Latin American and Caribbean Network Information Center



Adressage IPv4-Allocation des adresses

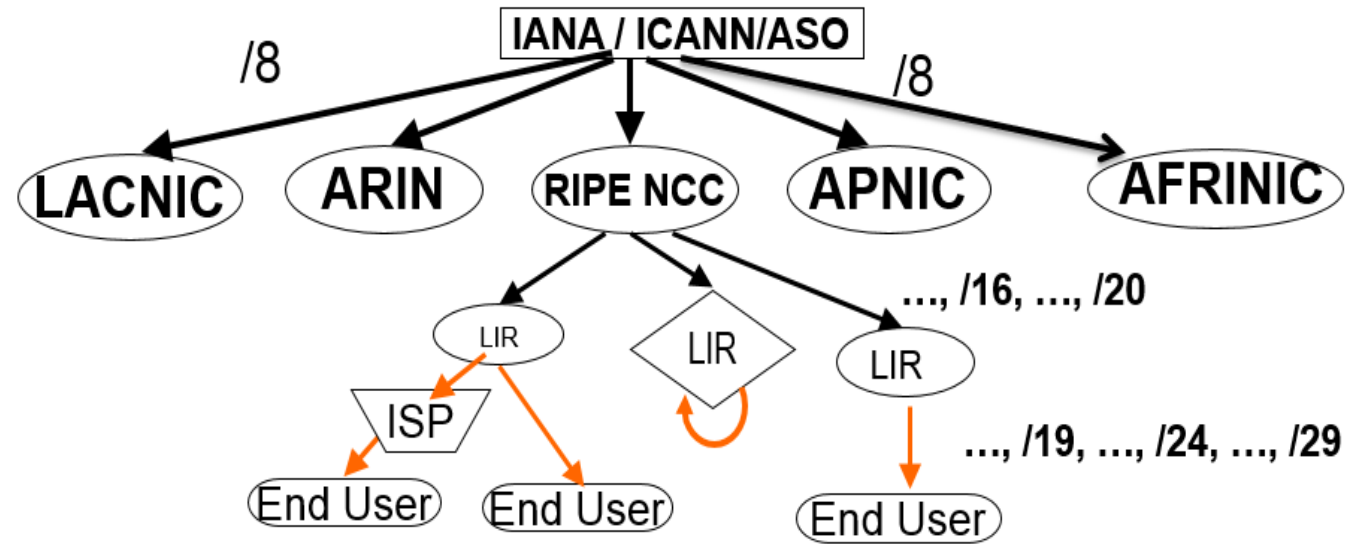
- Base de données des adresses

ASO: Address Supporting Organisation

ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

IANA: Internet Assigned Numbers Authority

LIR: Local Internet Registry (opérateur réseau, ISP ou une grande org.)



- L'**IANA** (division de l'**ICANN**) définit l'usage des différentes plages d'adresses IP en segmentant l'espace en 256 blocs de taille /8, numérotés de 0/8 à 255/8.
- Les adresses IP sont distribuées par l'**IANA** aux registres internet régionaux (RIR). Les RIR gèrent les ressources d'adressage dans leur région.

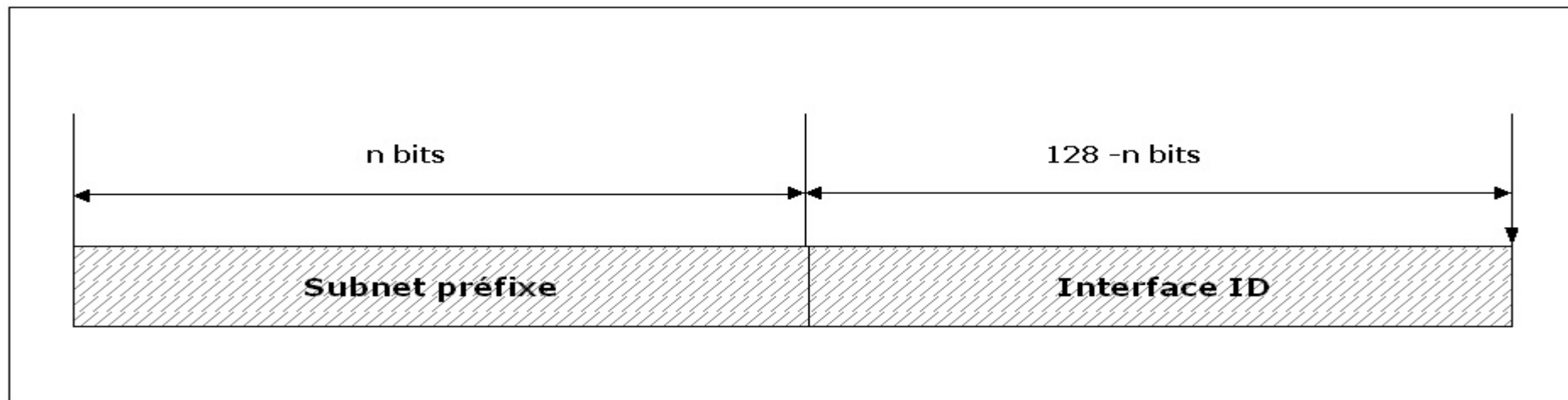
Adressage IPv4-Allocation des adresses

- PI "Provider Independent Addresses" : bloc d'adresses attribué par un RIR à un utilisateur final (titulaire des ressources).
 - un bloc PI ne devrait pas être plus petit que /24 soit 256 adresses IPv4 → il faut être en mesure pour justifier un tel besoin
- PA "Provider Aggregatable Addresses" : allouées par un RIR aux LIR, qui à leur tour les allouent aux ISPs
 - Les adresses sont considérées "aggregatable" parce que les routes qui composent l'agregat (*routes set*) appartiennent à l'*address space* géré par l'ISP. On est donc dépendant du provider, et en changer devient plus problématique.

	Re-numérotation si changement d'ISP	Agrégation des routes annoncées
PI	NON	NON
PA	OUI	OUI

Adressage « IP version 6 »

- Résoudre les problèmes de pénurie d'adresses, d'explosion de la taille des tables de routage ...
 - Les adresses IPv6 codées sur 128 bits
 - Théoriquement, $2^{128} = 340$ milliards de milliards de milliards de milliards ($3,4 * 10^{38}$) d'adresses IPv6
- Format des adresses IPv6
 - n bits pour identifier le préfixe réseau (spécifient un format d'adresse)
 - 128-n bits pour identifier les interfaces



Adressage « IP version 6 »

- Les adresses sont représentées sur 128 bits
 - Une adresse est divisée en 8 blocs de 16 bits
 - Les blocs sont séparés par « : »
 - Les valeurs de chaque bloc sont écrites en hexadécimal (entre 0 et FFFF)
 - x:x:x:x:x:x:x:x (x=16bits en hexa)
- Exemples
 - 2002:8AC3:802D:1242:120D:60FF:FE38:6D16
 - 21DA:00D3:0000:2F3B:02AA:00FF:FE28:9C5A
 - FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210
 - 1080:0:0:0:8:800:200C:417A
- Format compressée: la suite de 0 peut être abrégée par :: (1 seule fois)
 - fe80:0000:0000:0000:0209:6bff:fe50:49fd
 - devient fe80::209:6bff:fe50:49fd

Adressage « IP version 6 »

- Le préfixe est la partie de l'adresse qui indique les bits ayant des valeurs fixes, ou représente les bits de l'identificateur de réseau.
- Les préfixes pour IPv6 sont exprimés de la même manière que pour IPv4, CIDR (Classless Inter-Domain Routing). Une adresse IPv6 s'écrit sous la forme "adresse/longueur du préfixe".
 - ❖ Exemple:
FE80::2AA:FF:FE9A:4CA2/64
indique que les 64 premiers bits de l'adresse constituent le préfixe réseau.
- 3 types d'adresse :
 - ❖ Unicast (un à un): employé pour envoyer un datagramme à un unique noeud
 - ❖ Multicast (un à plusieurs) : employé pour envoyer un datagramme à tous les membres d'un groupe de nœuds
 - ❖ Anycast ou Cluster (envoi à un parmi plusieurs) : employé pour identifier un groupe de nœuds qui ont en commun un préfixe d'adresse. Un datagramme envoyé à une adresse cluster sera délivré à un membre du groupe.

Adressage « IP version 6 »

- Préfixe selon le type d'adresse

Address type	Binary prefix	IPv6 notation
-----	-----	-----
Unspecified	00...0 (128 bits)	::/128
Loopback	00...1 (128 bits)	::1/128
Multicast	11111111	FF00::/8
Link-Local unicast	1111111010	FE80::/10
Global Unicast	(everything else)	

- les adresses anycast sont dans la plage des unicast

Adressage IP v6- adresses Unicast - lien local

- Adresse locale (link local) unicast : validité restreinte à (non routée au-delà de)

- ❖ un lien pour auto configuration , auto découverte ... =>

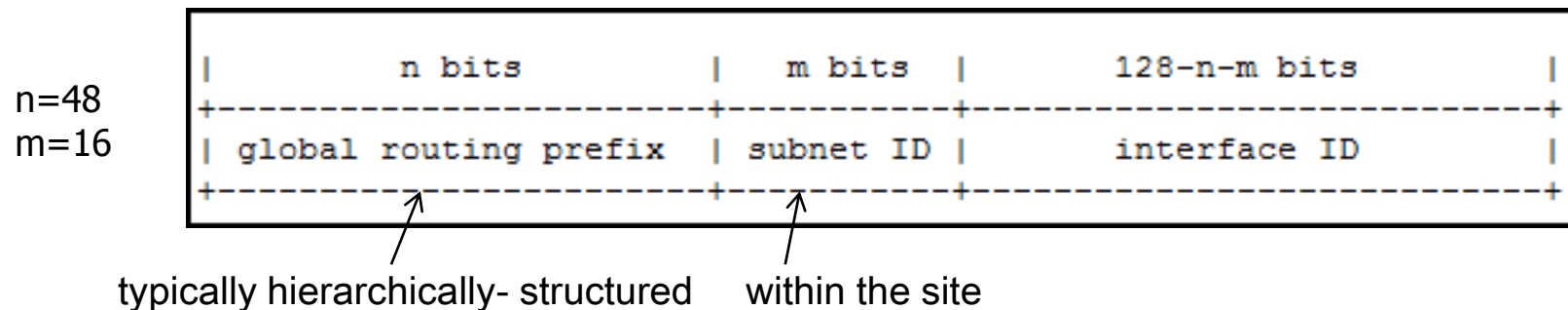
- FE80::** à **FEBo ::** + identifiant de l'interface

- ❖ zone (site ou ensemble de sites), appelée ULA "Unique Local Address",
remplace l'adressage privé =>

- FC00::/7** (actuel. FD00::/8 défini) +ident_global (généré de façon aléatoire par l'entité locale si FD) +ident_sous_réseau+ident_interface

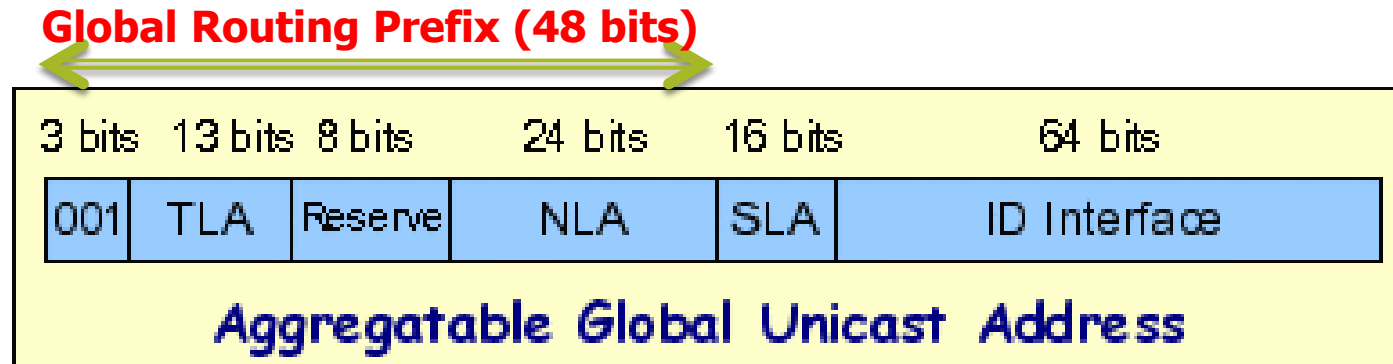
Adressage IP v6- adresses Unicast - globale

- ✓ Les adresses IPv6 unicast peuvent être
 - ❖ agrégées avec des préfixes de longueurs variables comme en CIDR IPv4
 - ❖ structurées en plusieurs niveaux, particulièrement hiérarchisé en trois niveaux
 - 1- la topologie publique utilisant 48 bits (préfixe en binaire 010, ID fournisseur de service, ID client)
 - 2- la topologie de site sur 16 bits (sous réseau dans le site)
 - 3- la topologie d'interface sur 64 bits.



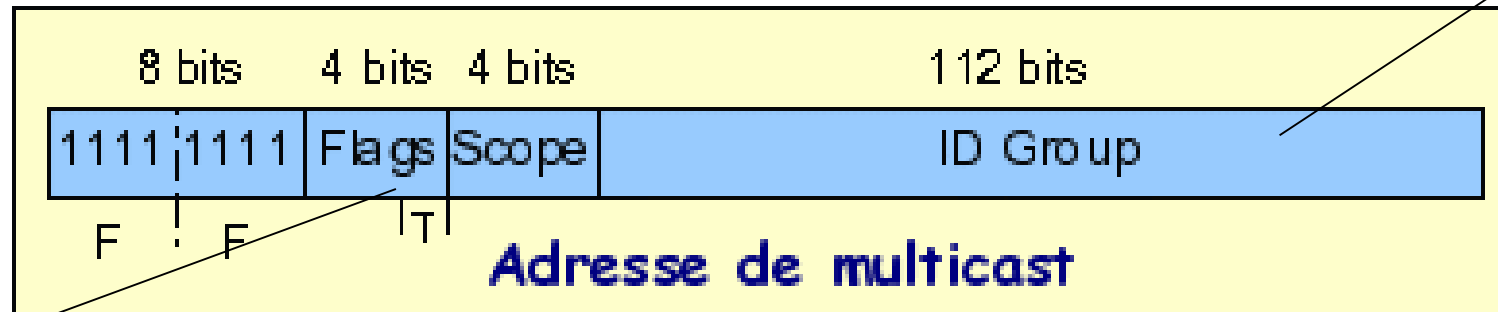
- Cette composition devrait permettre une meilleure agrégation des routes et une diminution de la taille des tables de routage.

Adressage IP v6- adresses Unicast - globale



- The 48 bit global routing prefix is further broken up into four groups:
 - ❖ Top Level Aggregator (TLA) ID is managed by IANA which allocates addresses to local internet registries who then in turn allocate TLA ID to global ISP.
 - ❖ Reserved block
 - ❖ Next Level Aggregator (NLA ID) ID is managed by the global ISP by combining the Prefix, TLA ID, Reserved block and NLA ID to form a 48 bit global routing prefix which would be used to identify a major site.
 - ❖ The 8-bits Reserved block is currently reserved for future use to expand the size and scope of either TLA or NLA ID.

Adressage IP v6- adresses multicast



0	Reserved
1	Node-local scope
2	Link-local scope
5	Site-local scope
8	Organization local scope
E	Global scope (Terre)
F	Reserved (Autre Planète)

Les 3 premiers bits à 0
Le bit T: si 0 Permanent or well-known
si 1 Transient

- Cette adresse spécifie un groupe d'interfaces appartenant au groupe de diffusion.
- Elle peut être permanente (T=0) ou temporaire (T=1), le bit T du champ flag marque cette différence. Les trois premiers bits du champ **flags** sont nuls (réservés). Typiquement, une vidéo-conférence est temporaire, dans ce cas les membres de ce groupe se verront attribuer ce type d'adresse temporaire avec le T à 1.
- L'étendue de la diffusion est définie par le champ **scope** de l'adresse. Pour l'exemple de notre vidéo-conférence, sa diffusion peut être confinée au lien local, au site, ou au-delà selon la valeur du champ scope.
- Pas d'adresse Broadcast ! Mais adresse Multicast

Adressage IP v6- adresses multicast

- Exemples d'adresses multicast "Well-known"

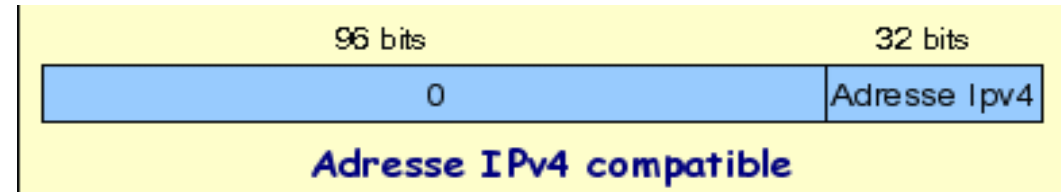
IPv6	IPv4	Groupe
Noeud local, les paquets ne quittent pas l'interface		
FF01::1	224.0.0.1	toutes les applications
FF01::2	224.0.0.2	Tous les routeurs (logiques)
lien local, les paquets ne quittent pas le lien		
FF02::1	224.0.0.1	Tous les nœuds
FF02::2	224.0.0.2	Tous les routeurs
FF02::5	224.0.0.5	Tous les routeurs OSPF
FF02::6	224.0.0.6	Tous les routeurs OSPF DR
FF02::9	224.0.0.9	Tous les routeurs RIP
site local, les paquets ne quittent pas le site		
FF05::2	224.0.0.2	Tous les routeurs

- Pour chaque adresse unicast/anycast FF02::1:FFXX:XXXX : Adresse multicast sollicitation de nœuds avec XXXXXX les derniers 24 bits de l'adresse et au niveau MAC l'adresse multicast : 33:33:FF:XX:XX:XX

Adressage IP v6 - pour la transition IPv4 IPv6

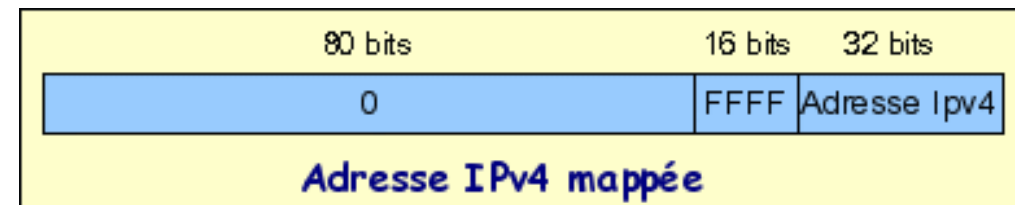
- **Adresse IPv4 compatible**

- ❖ ::a.b.c.d
- ❖ Utilisée par une machine IPv6 communiquant avec une autre machine IPv6 via un tunnel automatique IPv6/IPv4
- ❖ Deprecated / abandonné : utiliser nativement IPv6 à l'intérieur du site et n'utiliser qu'une machine, en sortie du site, faisant fonction de routeur/tunnelier IPv6/ IPv4



- **Adresse IPv4 mappée**

- ❖ ::FFFF:a.b.c.d
- ❖ Une machine IPv6 est capable de communiquer aussi bien avec une machine IPv4 qu'avec une machine IPv6 (double pile)
- ❖ Permet d'écrire des application IPv6 communiquant à travers IPV4



Différence IPv4/IPv6

- Presqu'une infinité d'adresses ; Beaucoup plus d'options, d'extensions futures
→ Plus complexe
- Une machine IPv6 n'utilise pas une seule adresse IPv6, mais plusieurs
 - ❖ adresse de la machine dans le plan d'adressage agrégé si la machine est reliée sur internet.
 - ❖ adresse de lien local valide uniquement sur un même espace de lien (par exemple interconnecté par un hub).
 - ❖ adresse de site local, restreinte au site. Par exemple un site non relié sur Internet.
 - ❖ ...

Adressage NSAP : ISO 8348/2 – X.213/A

AREA		ID	SEL
GLOBAL		LOCAL	
IDP		DSP	
AFI	IDI	DSP	

- Adresse réseau d'entité de transport : NSAP.
 - Longueur variable – max : 20 octets
 - Champs
 - ❖ AREA : Identificateur réseau niveau 1
 - ❖ ID (1 – 8 octets) : Host ID
 - ❖ SEL (1 octet) : entité de transport
 - ❖ Global : affectation par autorité globale
 - ❖ Local : administration du domaine
- ❖ IDP : Initial Domain Part
 - AFI (1 octet) : Authority and Format Identifier
 - X.121 : 37; E.163 : 43
 - IDI: Initial Domain Identifier (spécifié selon AFI) représenté par exemple selon la norme X.121
 - Longueur : X.121 : 7 octets (14 demi octets) E.163 : 6 octets
 - ❖ DSP : Domain Specific Part

Adressage ISO : Exemple X.121

- **X.121** est défini par l'UIT comme : « Plan de numérotation international pour les réseaux de données publics ».
- C'est une norme d'adressage des réseaux comparable à l'adressage IP. Elle est principalement utilisée comme solution d'adressage par le protocole X.25 pour l'établissement de circuits virtuels commutés
- AFI : 37 → adresse X.121
- IDI : adresse internationale de l'abonné
 - ❖ Code pays : 208 (France)
 - ❖ Code du réseau : 0 (Transpac)
 - ❖ Numéro abonné : 75000120
- DSP
 - ❖ Aire locale : 003E
 - ❖ ID : AA-00-04-00-0E-F8
 - ❖ SEL : 21 (transport ISO)
 - ❖ 37 00208075000120 003E AA0004000EF8 21

C'est une adresse selon X.121 (14 ½ Octets)
(Pays (2)+Réseau (1)+ID (11))