



Introduction à la cyberstructure de l'internet - réseaux et sécurité

UE CNAM - UTC505

François Lacomme <francois.lacomme@2isa.net>

Document provisoire.

Copie et diffusion non autorisées sans accord écrit.

Documents liés aux cours et TP : <https://utc505.seancetenante.com>



1 - Plan du cours

- ❖ Diviser pour régner (**modèle OSI**)
 - Découverte de l'**architecture de communication en couches**. Du modèle OSI à l'architecture Internet; introduction aux protocoles http, DNS et à l'outil d'analyse de traces Wireshark.
- ❖ Les autoroutes de l'information : nids de poules et travaux en tous genres (**couche physique**)
 - Concepts et problèmes de la transmission de données : erreurs de transmission, le contrôle d'erreur, notion de bande passante, traitement des signaux, atténuation, modulation, multiplexage, commutation, synchronisation d'horloge, problèmes de caractère et de bit stuffing.
- ❖ Collectivisme ou Libre entreprise... à la recherche d'un modèle équitable (**sous-couche MAC**)
 - Grandes familles de protocoles à compétition et à coopération, détail sur CSMA/CD et CSMA/CA en mode infrastructure. Ponts et commutation.



1 - Plan du cours

- ❖ Croisements et Destination (**couche réseau**)
 - Adressage, tables de routage et l'expédition de données dans le réseau IP. Evolution de IPv4 à IPv6.
- ❖ Une lettre ou un appel ? (**couche transport**)
 - Transport de données entre un client et un serveur à travers UDP et TCP avec le modèle datagramme, et les approches connecté et non connecté. Gestion et utilisation de l'API socket.
- ❖ Où sont les clefs ? (**Introduction à la sécurité**)
 - Aspects sécurité de base pour la confidentialité, l'intégrité, l'authentification et la notarisation : principes de cryptographie symétrique et asymétrique, fonctions de hachage cryptographique.

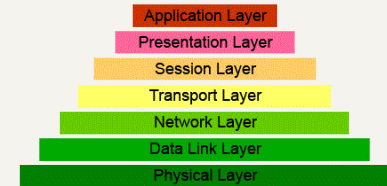


2 - Prologue

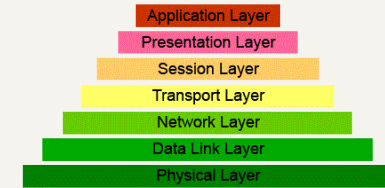
Taille de réseaux

Taille		Abréviation	Réseau
1m		PAN Personal Area Network	Réseau domestique
10 m	salle		
100 m	entreprise	LAN Local Area Network	Réseau local
1 km			
10 km	ville	MAN Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain
100 km	région	WAN Wide Area Network	Réseau longue distance Réseau étendu
1000 km	pays, continent		
10 000 km	terre entière	GAN (Global Area Network) Internet	Réseau mondial ex. : Internet (Réseau de réseaux TCP/IP)

Fig 0.1 - Taille de réseaux



- ❖ **Forte structuration des logiciels de réseaux pour réduire la complexité de conception des réseaux**
 - Diviser pour mieux régner
 - Rendre chaque problème de communication autonome avec des interfaces claires
 - Une approche récursive et générique
- ❖ **Organisation en couches ou niveaux :**
 - Une couche N offre un ensemble de **services** à la couche immédiatement au-dessus N+1.
 - La couche N se sert pour cela de la couche N-1 en dessous, masquant à la couche N+1 le fonctionnement et la complexité de la couche N-1.
 - Chaque couche est construite au-dessus de la précédente et gère la communication avec **la couche de même niveau** d'une autre machine
 - Cette communication utilise des règles et des conventions appelées **protocoles**
 - Le **support de transmission** (la couche 0), lié à la couche la plus basse, véhicule réellement la communication



❖ Illustration

- L'architecture philosophe/
traducteur/
secrétaire

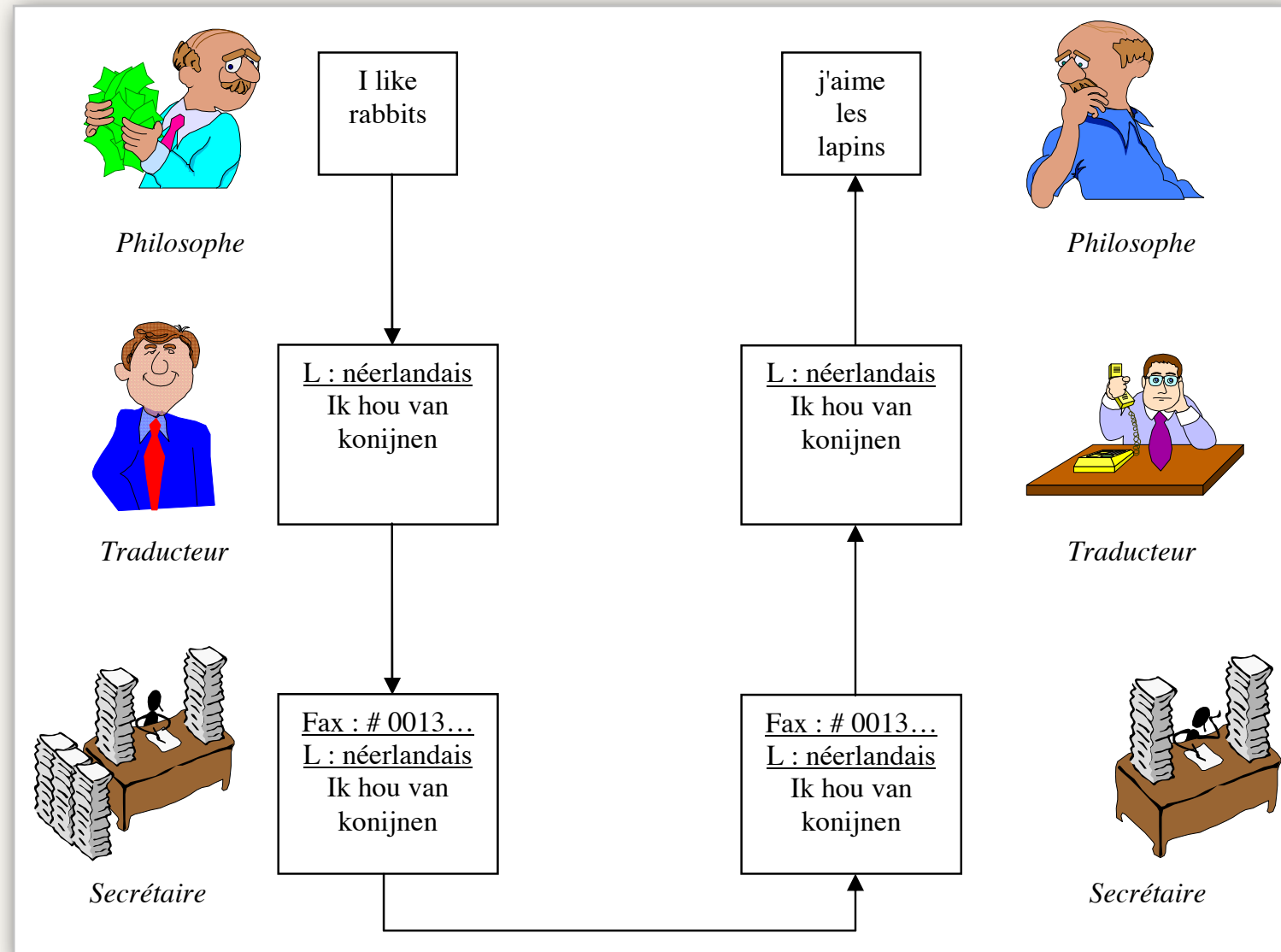


Fig 1.1 - Une architecture à trois couches

2 - Définitions

- ❖ **Protocole $P(n)$ d'une couche n**
 - Ensemble des **règles et conventions** utilisées pour le dialogue de la couche n
- ❖ **Pile de protocoles**
 - Ensemble des protocoles utilisés par un système, avec 1 protocole par couche
- ❖ **Service**
 - Description abstraite de fonctionnalités à l'aide de **primitives de service** (commandes ou événements)
 - Le service d'une couche n définit l'ensemble des fonctionnalités possédées par la couche n et fournies aux entités de la couche $n+1$ à l'interface $n/n+1$

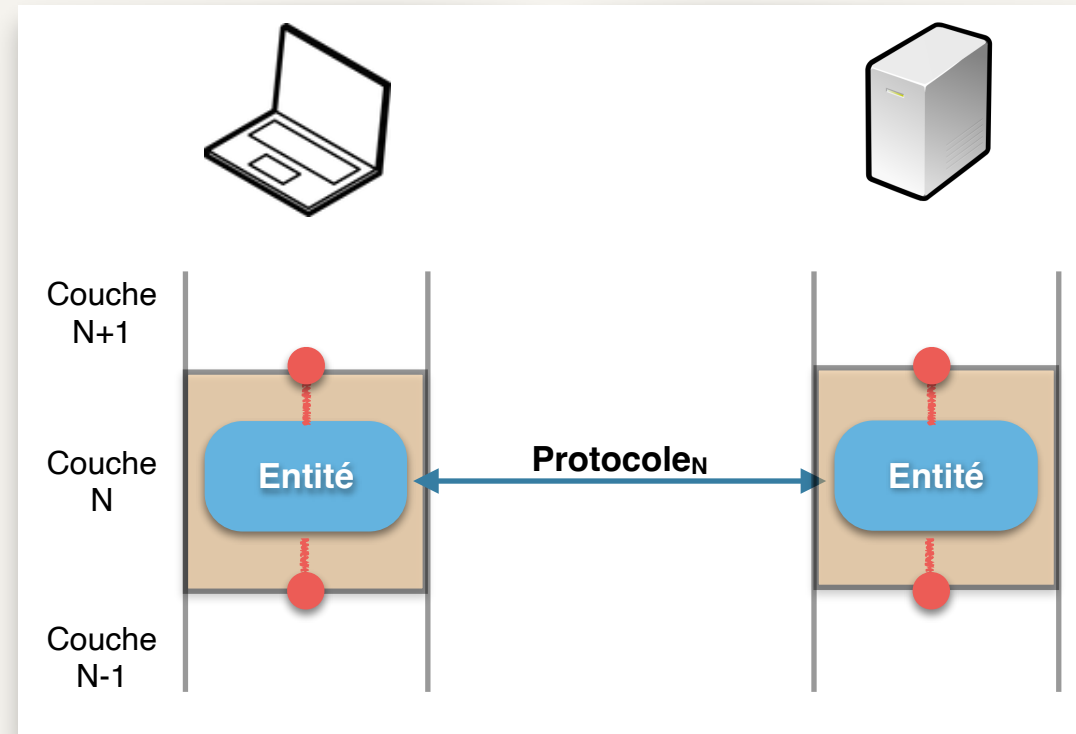
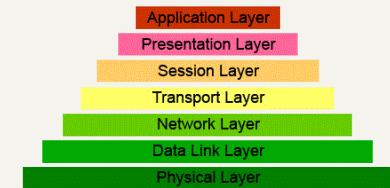


Fig 1.2 - Protocole_N d'une couche N



2 - Définitions

❖ Interface

- ▶ Accès à l'ensemble des opérations élémentaires et des services qu'une couche (n) offre à la couche (n+1) supérieure
- ▶ Une interface est le moyen concret d'utiliser un service

❖ Encapsulation

- ▶ Technique consistant à ajouter à un bloc de données un en-tête (*header*), et éventuellement une queue (*trailer*). L'en-tête contient les informations de contrôle du protocole.

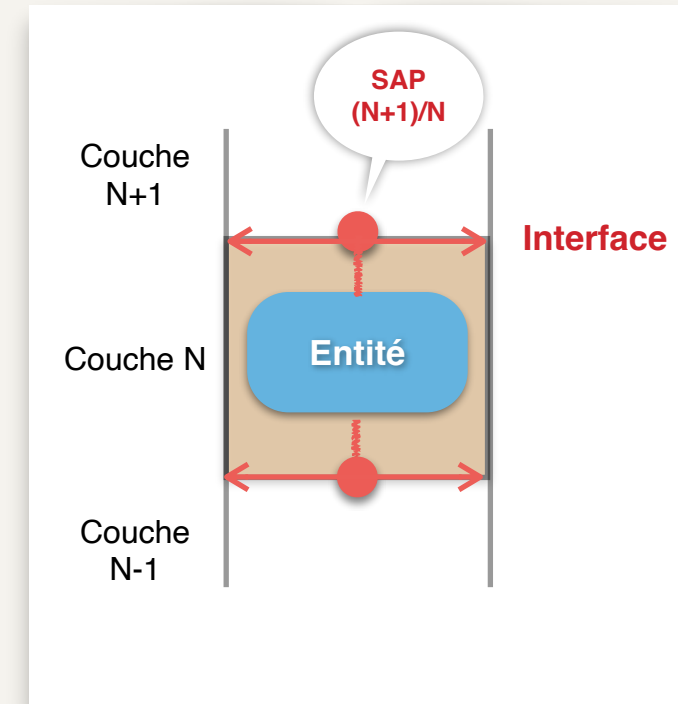


Fig 1.3 - Interfaces entre couches

❖ Décapsulation

- ▶ Extraction des données utiles à partir de l'unité de données de protocole



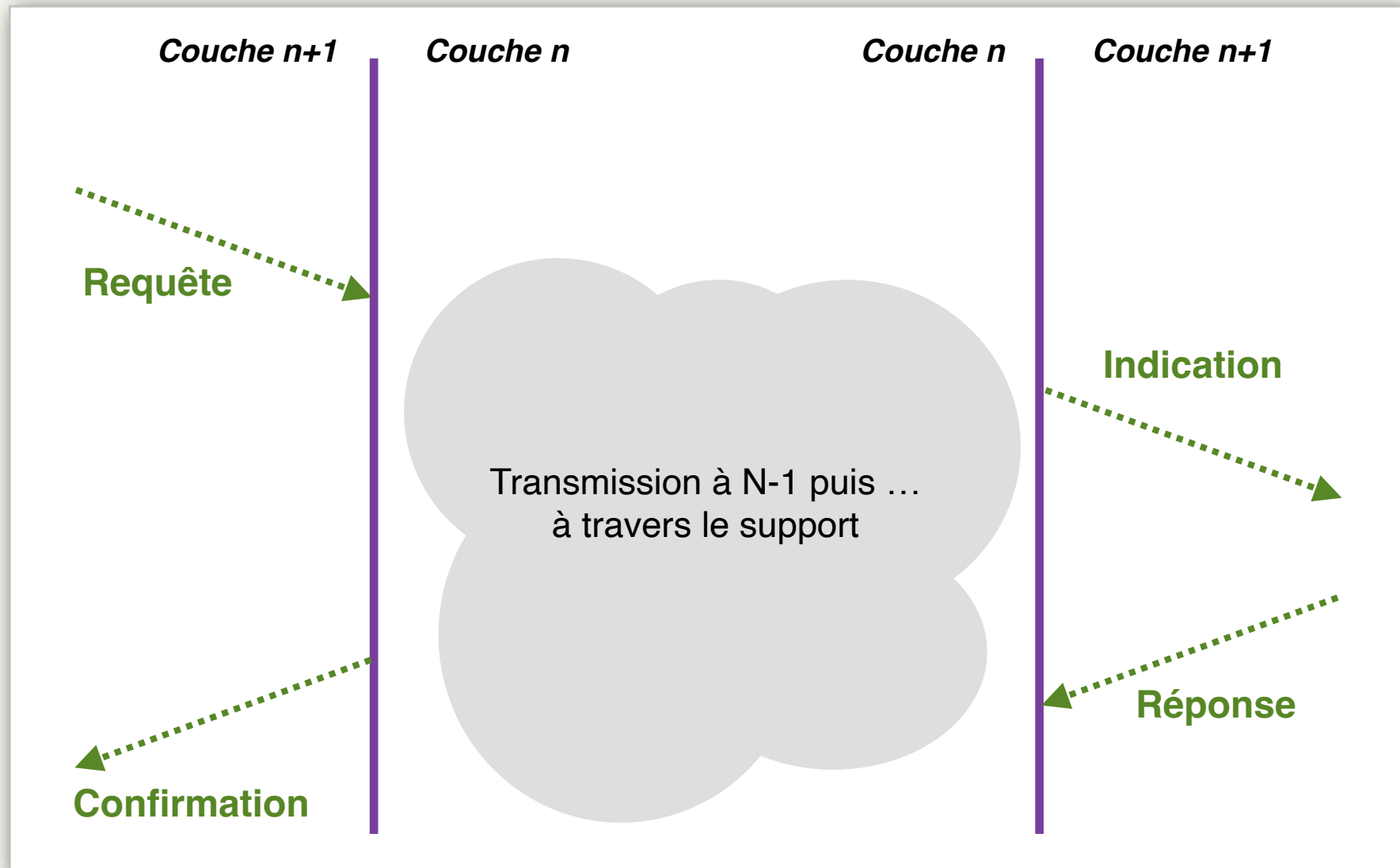
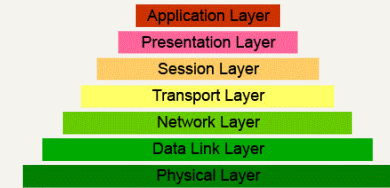


Fig 1.5 - Primitives de service

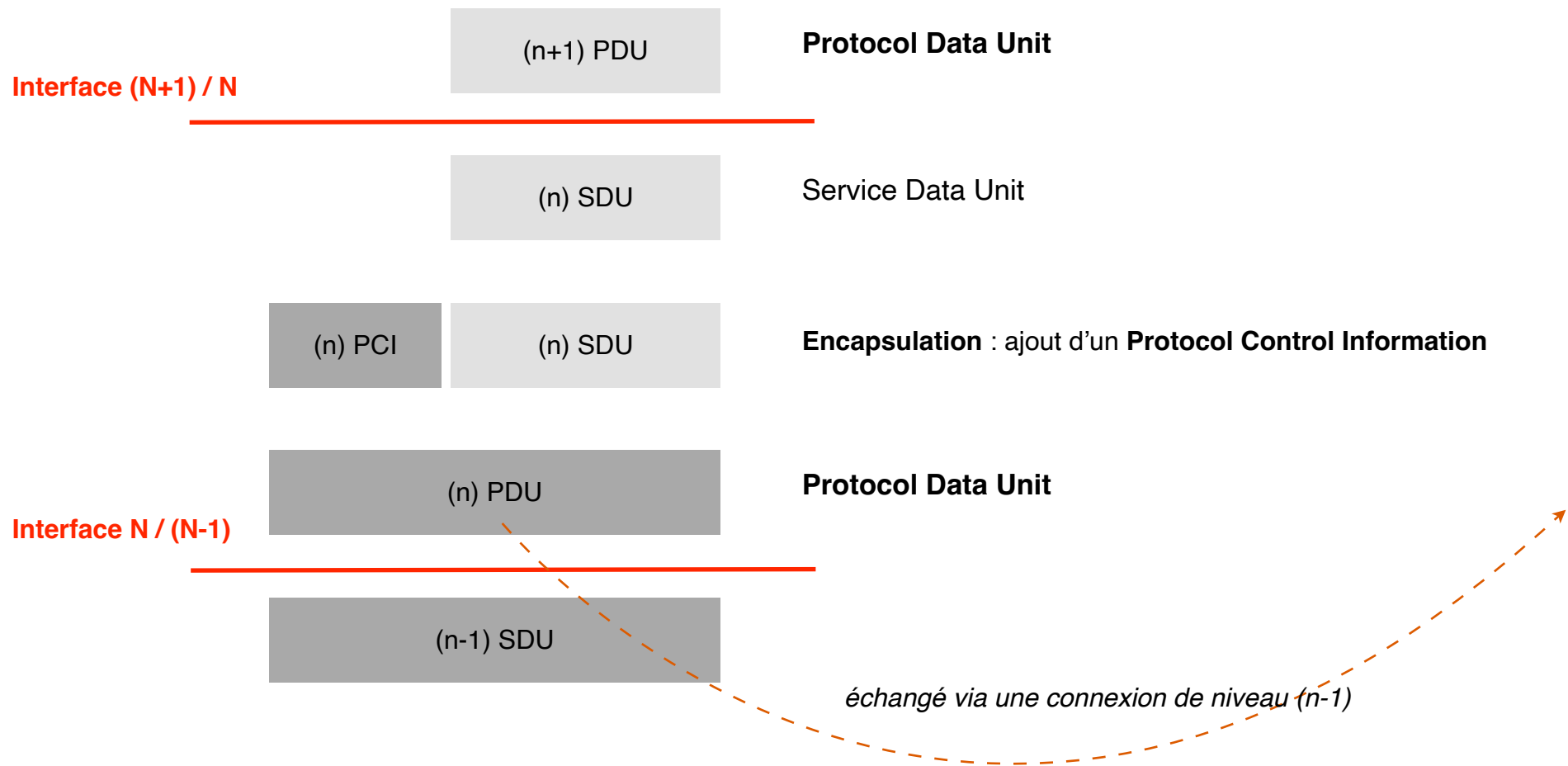
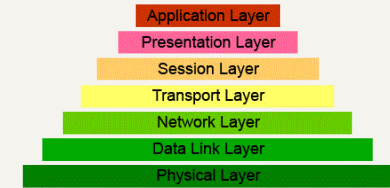


Fig 1.6 - Unités de Données de Protocole & encapsulation

2 - Définitions



* Modèle OSI

- ▶ Modèle **OSI**, *Open Systems Interconnection* de l'ISO, *International Standard Organization*
- ▶ Ce modèle de référence a été conçu par l'ISO (années 1970) et a été normalisé en 1984 et révisé en 1994.

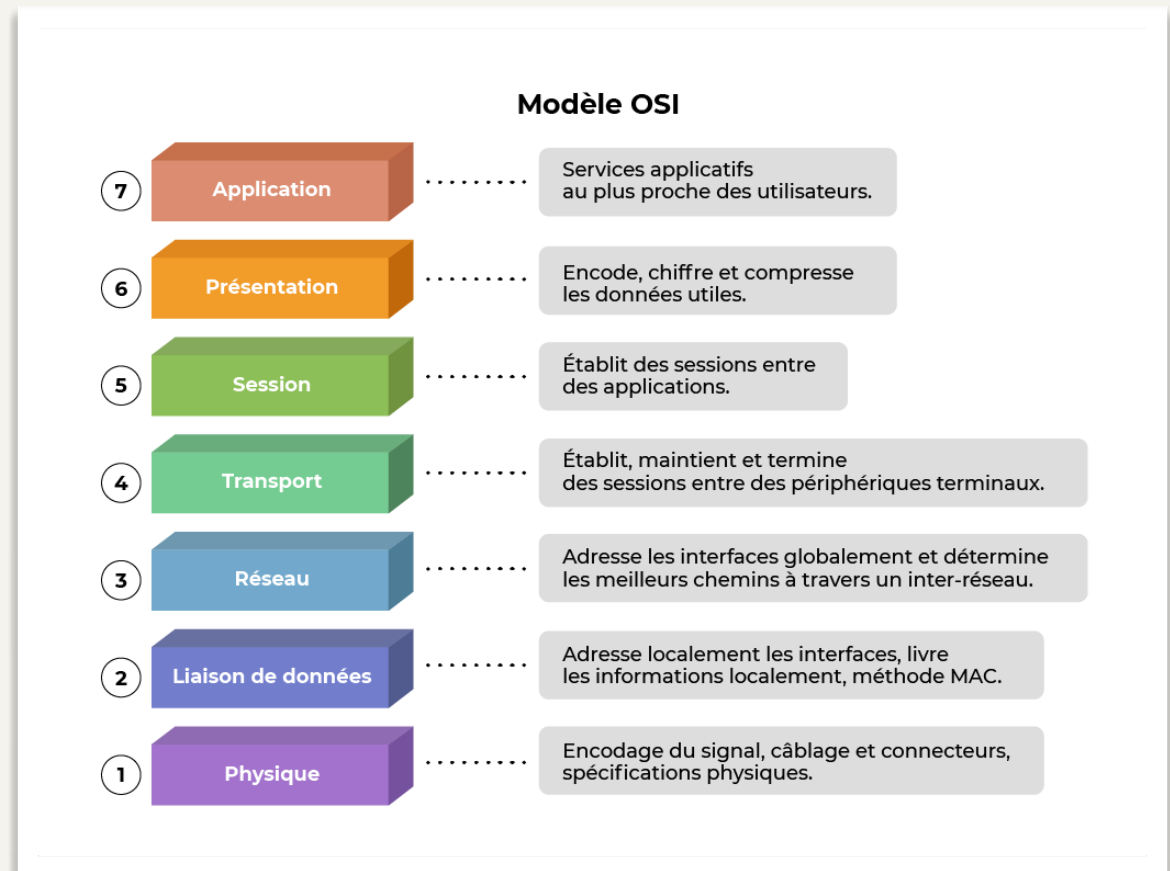
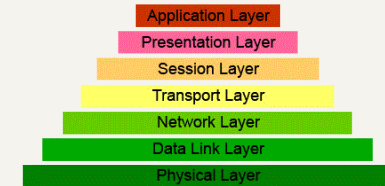


Fig 1.7 - Le modèle OSI

3 - Le modèle de référence OSI



► **Pour**
Le
Réseau
Tout
Se
Passe
Automatiquement

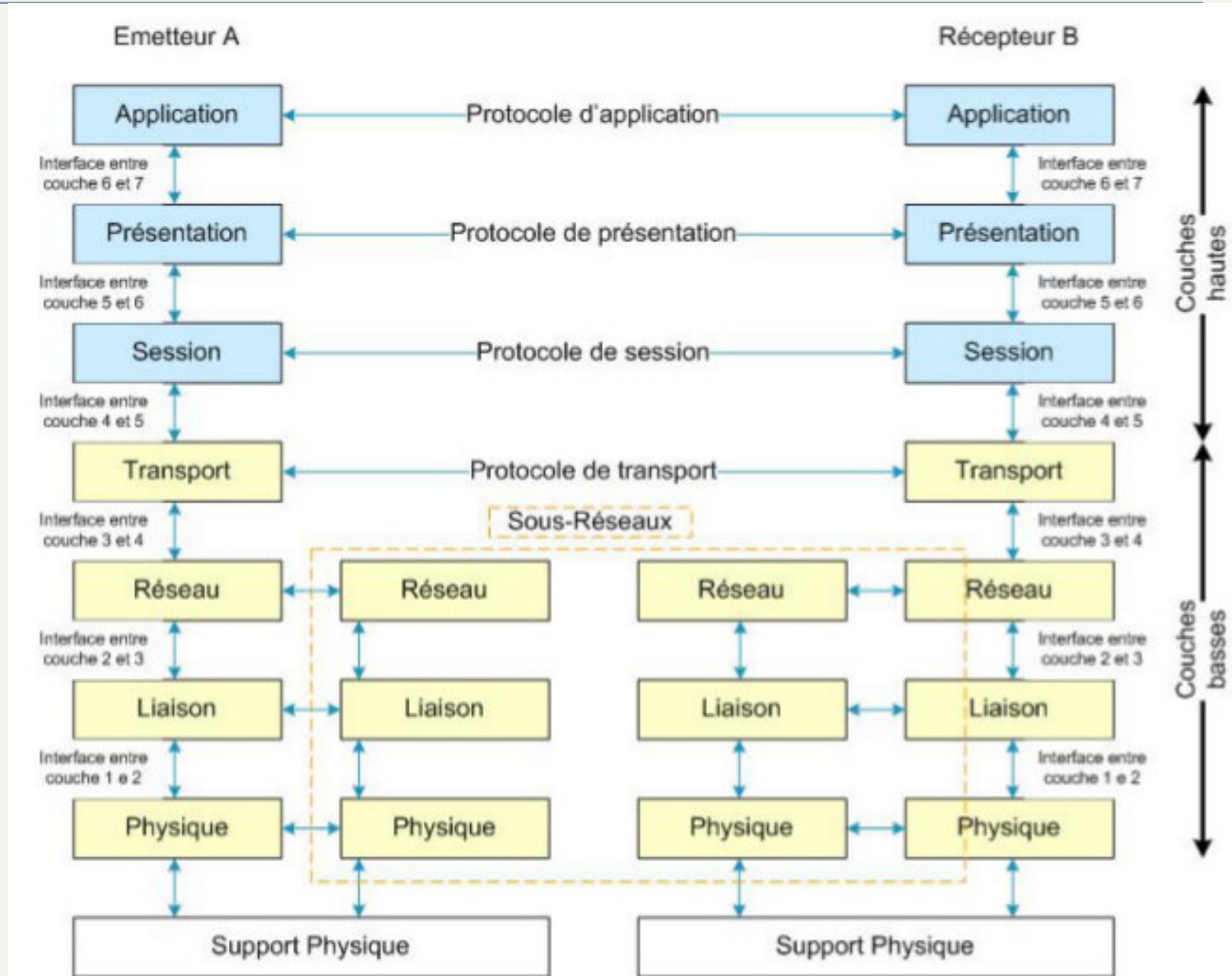
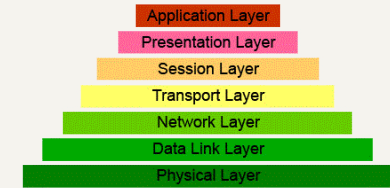


Fig 1.8 - Schéma du modèle en couche OSI

3 - Le modèle de référence OSI



- ▶ Le modèle OSI (*Open Systems Interconnection*) est un cadre conceptuel développé par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) pour standardiser la communication entre systèmes informatiques en réseau.
- ▶ Créé dans les années 1970 et publié en 1984, ce modèle divise le processus de communication en **sept couches distinctes**, chacune ayant des fonctions spécifiques et interagissant avec les couches adjacentes.
- ▶ Cette division facilite la compréhension, la conception et le dépannage des réseaux complexes.

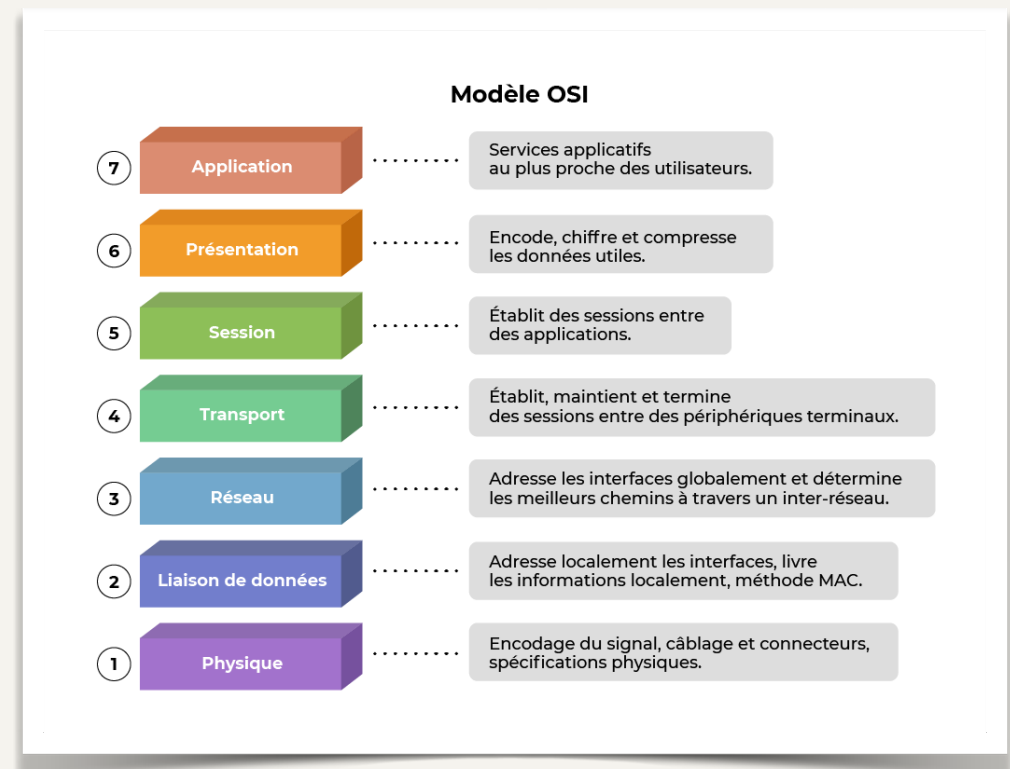
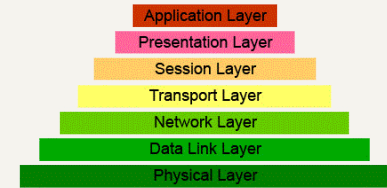


Fig 1.9 - Le modèle OSI

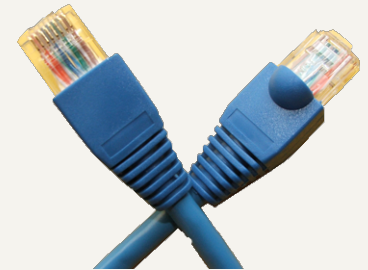


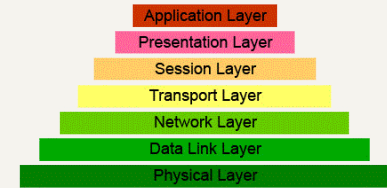
3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche physique - Niveau physique - *Physical layer* - Couche 1

- Elle concerne le transfert de **train de bits** d'information sur le support physique
- Unité de PDU : **bit**
 - Unité d'information
 - **0 | 1**
- Les **supports physiques** véhiculent des **signaux** qui représentent les informations transmises
 - Support métallique => signaux électriques
 - Ondes radio
 - Infrarouge
 - Fibre optique => ondes optiques





3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche physique (suite)

- La transformation de trains de bits en **signaux** adaptés au support passe par des techniques de **codage en bande de base** ou de **modulation**.
- **Débit binaire** (*bitrate* ou *bit rate*)
 - Nombre de bits par seconde émis sur le support de transmission
 - Quantité de données transmises dans un intervalle de temps fixé

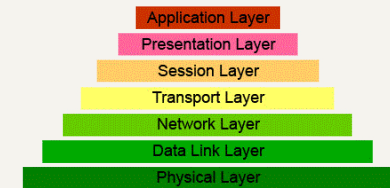
$$D = \frac{V}{T}$$

D : débit binaire en bit/s

V : Volume d'information en bit

T : durée d'émission

- Un débit s'exprime en **bit/s** (ou ses multiples : kbit/s ; Mbit/s ; Gbit/s...)

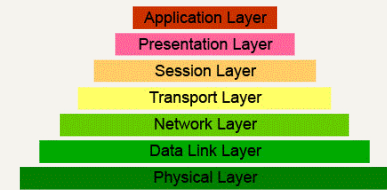


3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche physique (suite)

- **Latence** (*lag*) : Temps de transit entre l'émission d'un bit et sa réception
- **Gigue** (*jitter*) : **Variation** de la latence dans le temps. Une gigue faible indique une connexion stable
- **Bande passante** (*bandwidth*)
 - C'est une caractéristique physique d'un **support de transmission**, mesurée en hertz (Hz)
 - Largeur de la bande de fréquences des signaux qui sont transmis correctement (sans affaiblissement dommageable)



3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche liaison de données - Niveau frame - *Data Link layer* - Couche 2

- Transfert de **frames** entre deux systèmes adjacents
- Établissement, maintient, contrôle et libération du **lien logique** entre les deux entités
- Constitution et transmission de frames **bien délimitées**
- **Détection** et correction d'erreurs
- [Pour un réseau à diffusion] : **Sous-couche MAC** pour gérer et arbitrer les accès multiples au canal de transmission partagé

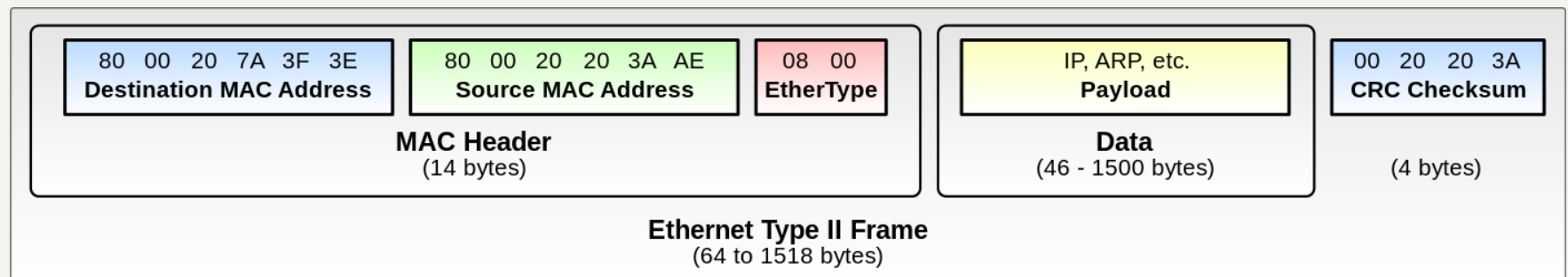


Fig 1.10 - Trame Ethernet type II

3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche liaison de données (suite)

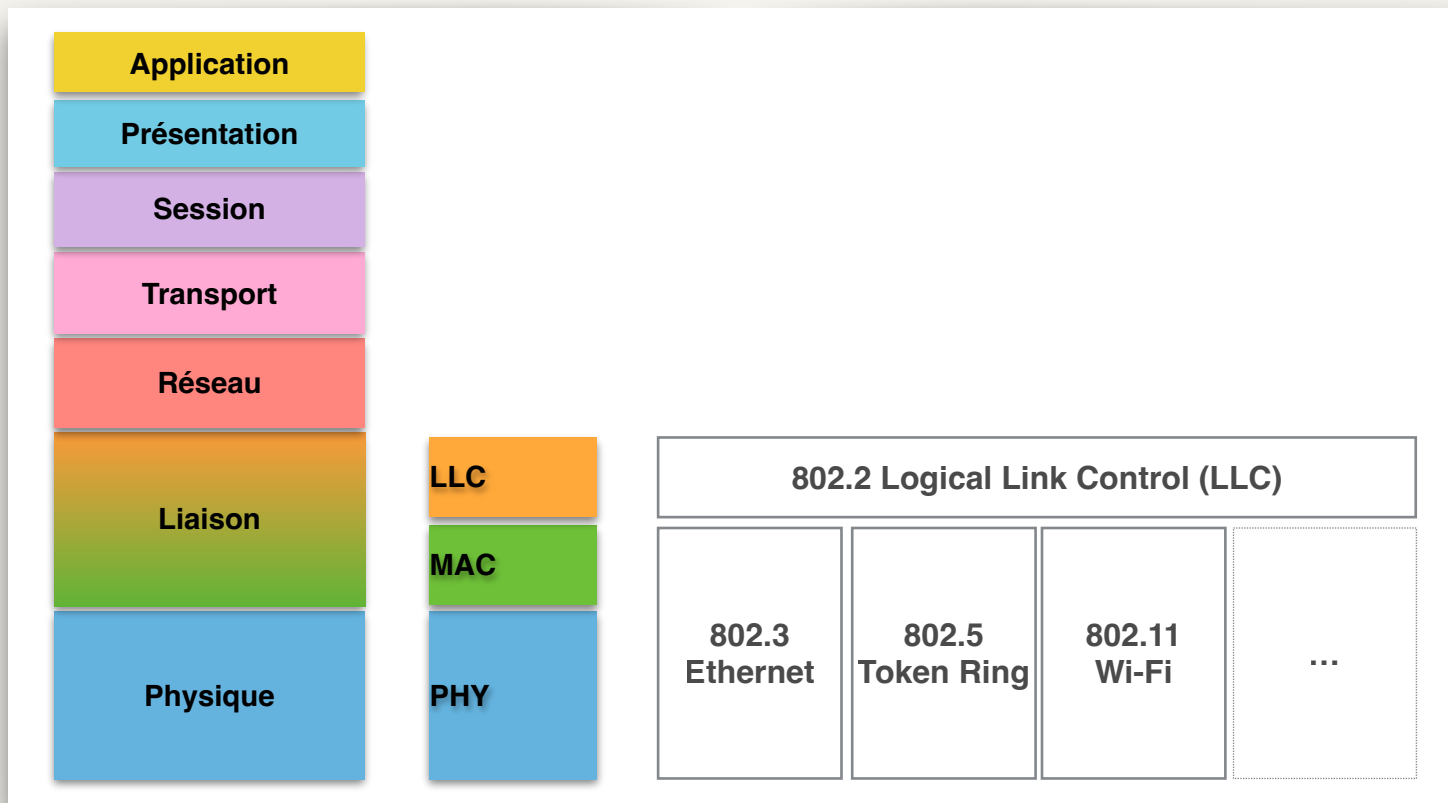
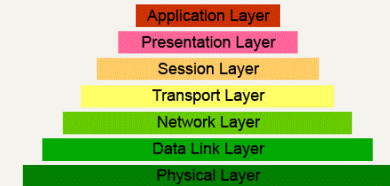


Fig 1.11 - Couches PHY, MAC et LLC



3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche réseau - Niveau paquet - *Network layer* - Couche 3

- Responsable du **roulage** des paquets à travers le réseau, elle gère l'adressage logique et le choix des chemins.

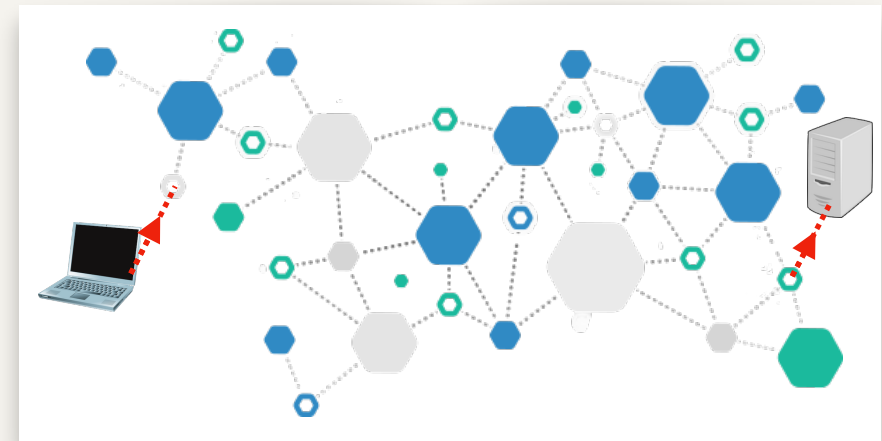


Fig 1.12 - Système de relais

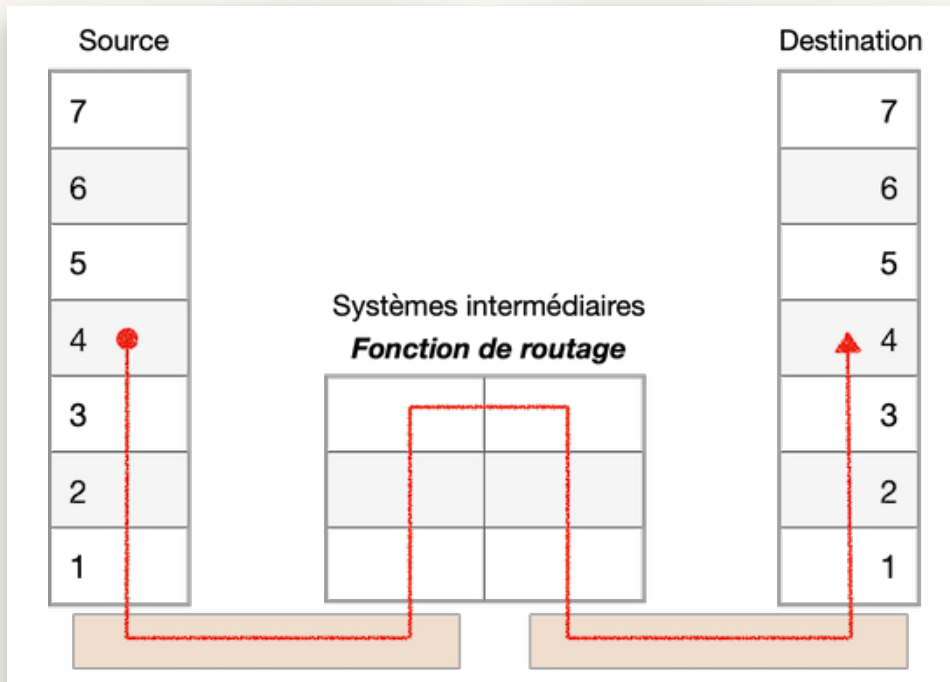
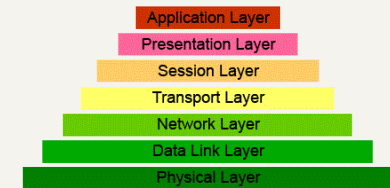


Fig 1.13 - Fonction de roulage



3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche transport - Niveau message - *Transport layer* - Couche 4

- Elle garantit un transfert de données fiable **entre systèmes finaux**, contrôlant le flux et la correction d'erreurs

Couche session - Niveau session - *Session layer* - Couche 5

- Elle gère les sessions de communication entre applications, incluant l'établissement, la gestion et la terminaison des connexions.

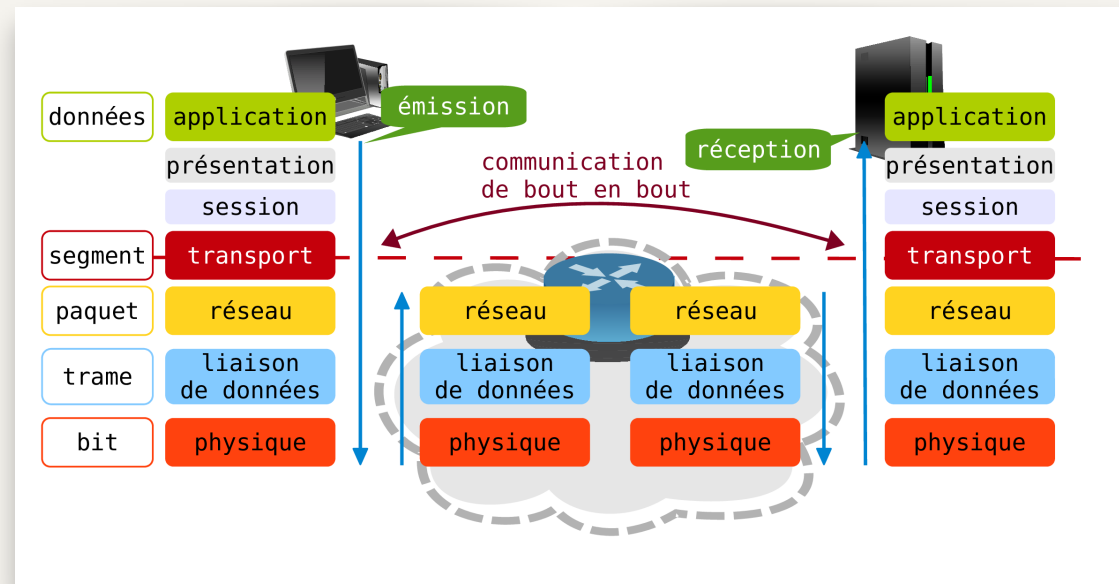
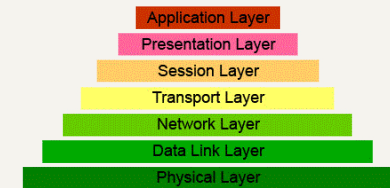


Fig 1.14 - Place de la couche transport dans le modèle OSI



3 - Le modèle de référence OSI

Les sept couches du modèle OSI

Couche présentation - Niveau présentation - *Presentation layer* - Couche 6

- Elle s'occupe de la traduction des données entre le format du réseau et celui des applications, assurant également l'encodage/décodage et la compression/décompression.

Couche application - Niveau application - *Application layer* - Couche 7

- Elle fournit des services réseau aux applications utilisateur, comme le courrier électronique ou le transfert de fichiers.

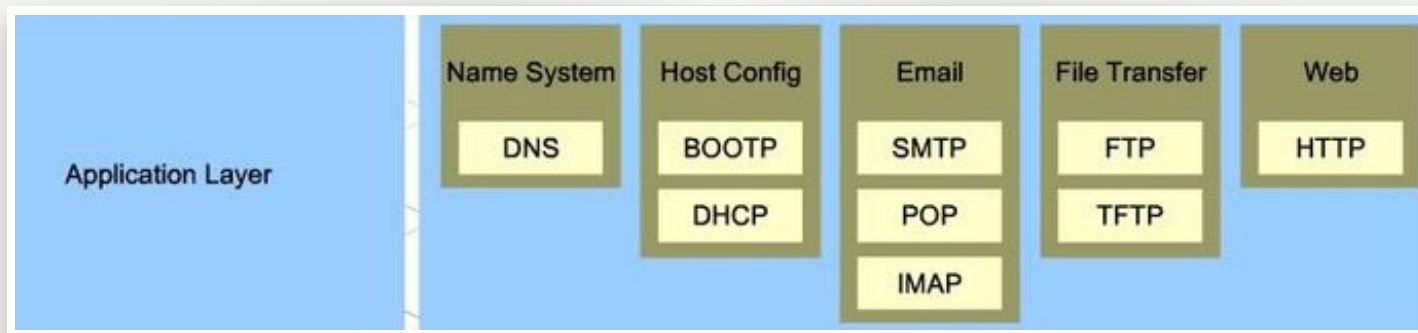
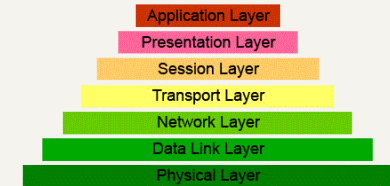


Fig 1.15 - Quelques protocoles de la couche application



Internet

ARPANET - Internet

Une architecture [ou un modèle ?] à 4 couches

- Accès au sous-réseau
- Couche internet
- Couche transport
- Couche application

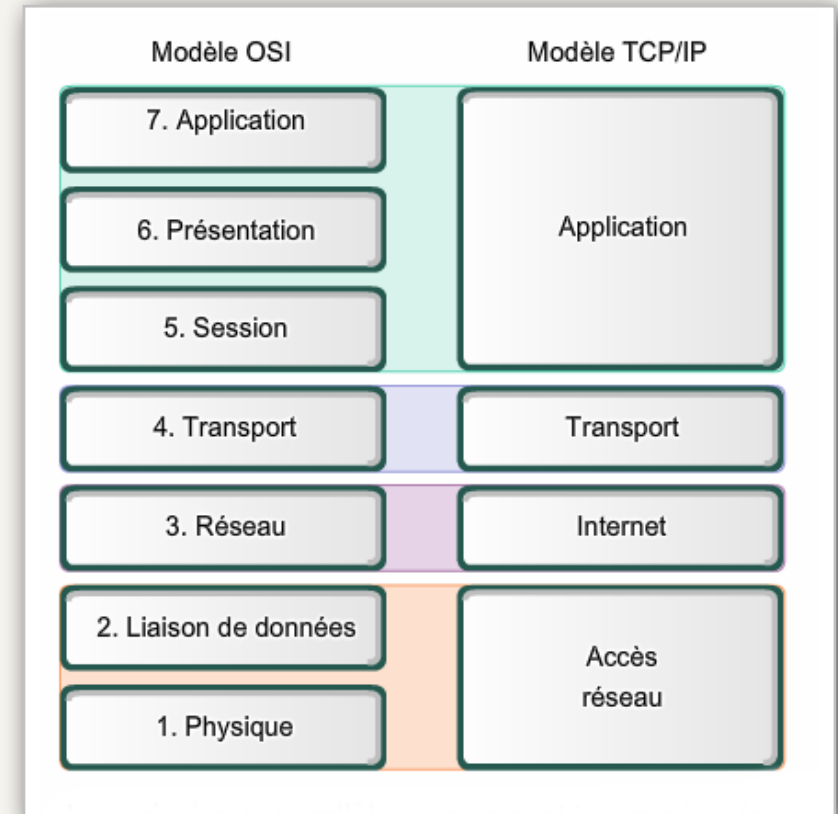
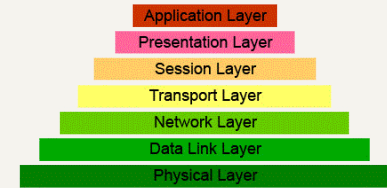


Fig 1.16 - Comparaison du modèle OSI et de l'architecture TCP/IP



4 - L'architecture TCP/IP

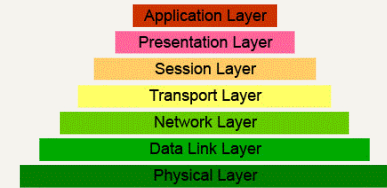
Les couches de l'architecture TCP/IP

Accès au sous-réseau (ou couche hôte-réseau)

- Non spécifiée par l'architecture TCP/IP
- Doit permettre le transfert de paquets entre hôte et routeur et entre routeurs
- Cette couche est liée au type de réseau utilisé (Ethernet, Wi-Fi, ATM...)

Couche internet

- Au niveau de la couche réseau d'OSI, son objectif est de permettre :
 - l'injection de paquets nommés **datagrammes** dans n'importe quel réseau
 - l'acheminement de ces datagrammes indépendamment les uns des autres jusqu'à destination
- Le protocole IP (*Internet Protocol*) est non fiable, sans connexion
- La couche internet assure le routage des datagrammes et la gestion des congestions

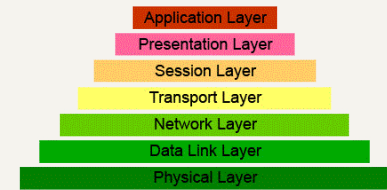


4 - L'architecture TCP/IP

Les couches de l'architecture TCP/IP

Couche transport

- Au niveau de la couche transport d'OSI, elle définit principalement deux protocoles de bout en bout pour permettre le dialogue entre deux entités paires.
 - **TCP** : Transmission Control Protocol
 - **UDP** : User Datagram Protocol
- TCP : **Transmission Control Protocol**, est un protocole fiable orienté connexion. Il permet de remettre sans erreur un flux d'octets d'un hôte à un autre en le fragmentant en segments qui sont encapsulés par le protocole IP.
- UDP : **User Datagram Protocol**, est un protocole plus simple, non fiable et sans connexion, utile lorsque ni contrôle de flux, ni ordonnancement de données n'est nécessaire.

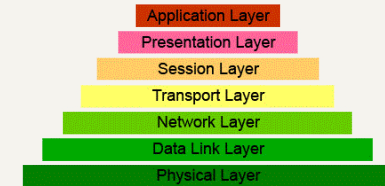


4 - L'architecture TCP/IP

Les couches de l'architecture TCP/IP

Couche application

- Cette couche regroupe les niveaux session, présentation et application du modèle OSI. Elle contient les protocoles de haut-niveau utilisés par les logiciels pour leur besoin de communication.
- Exemples de protocoles :
 - **Transfert de fichiers** : FTP, *File Transfer Protocol* ; SFTP, *Secure File Transfer Protocol*...
 - **Messagerie électronique** : SMTP, *Simple Mail Transfer Protocol* ; POP3, *Post Office Prot.*; IMAP, *Internet Message Access Prot.* ; MIME, *Multipurpose Internet Mail Extensions*...
 - **Messagerie instantanée** : XMPP, *Extensible Messaging and Presence Protocol*, alias *Jabber*...
 - **Travaux à distance** : Telnet ; ssh, *Secure shell*
 - **Consultation et gestion d'annuaires** : LDAP, *Lightweight Directory Access Protocol*
 - **Standards et outils du web** : HTTP, *HyperText Transfer Prot.* ; URI, *Uniform Resource Identifier* ; HTML, *HyperText Markup Language* ; CGI, *Common Gateway Interface*...
 - **Traduction de nom de domaine en adresse IP** : DNS, *Domain Name System*
 - **Autres** : NFS, *Network File System* ; SNMP, *Simple Network Management Protocol* ; DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol* ; etc.



La couche application

Exemple : Requête d'une page web

- L'internaute clique sur un lien <http://example.com> pour afficher une page web
- De façon détaillée, qu'est-ce qu'il se passe ?

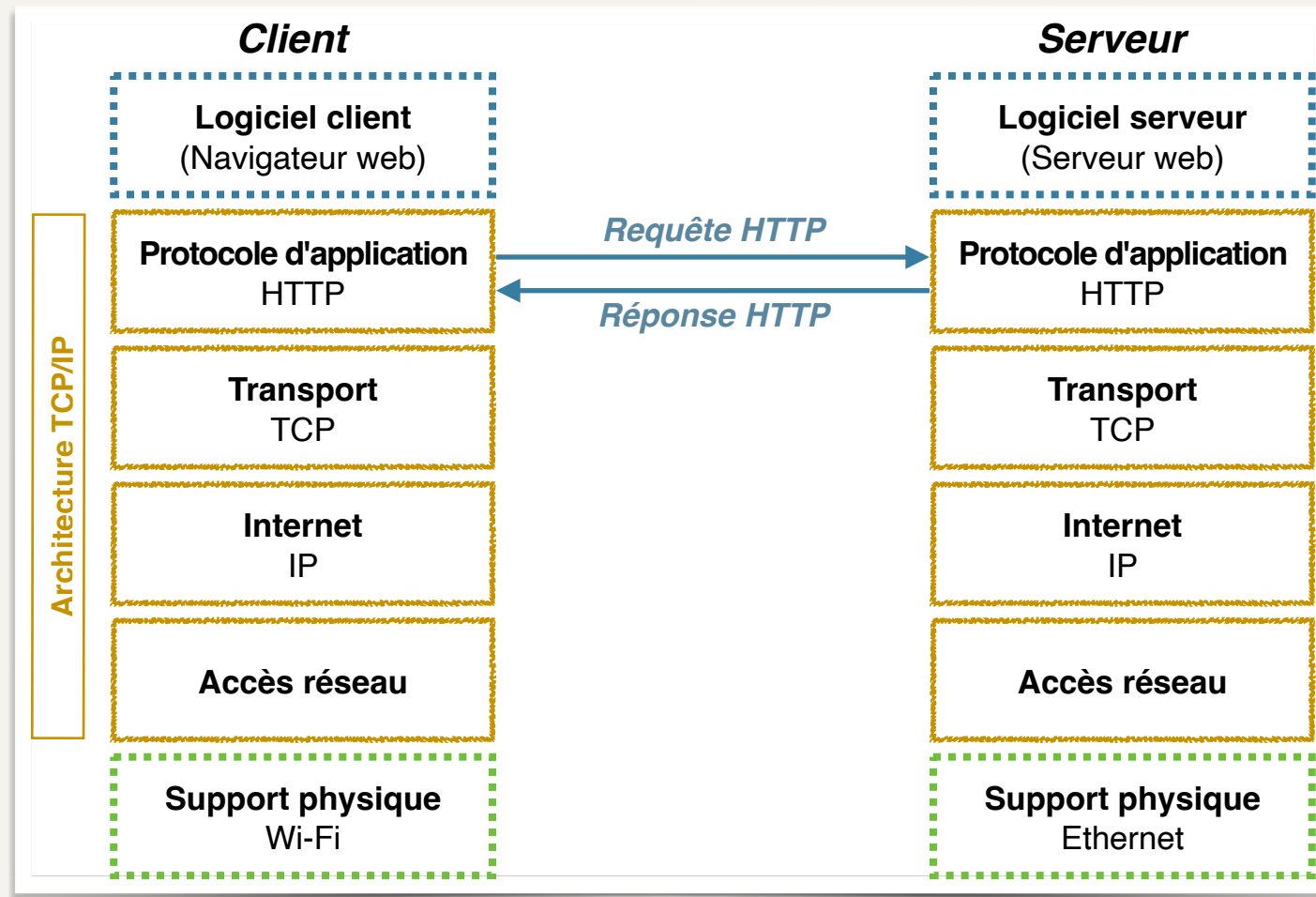
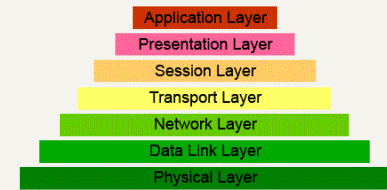


Fig 1.17 - Requête d'une page web

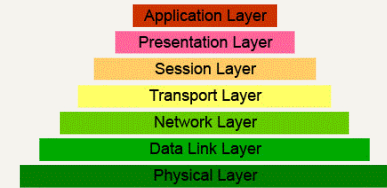


4 - L'architecture TCP/IP

La couche application

Exemple : Requête d'une page web (suite...)

- ▶ Le navigateur web
 - analyse le lien ;
 - détermine l'adresse IP du serveur via DNS : *qui est example.com ? 93.184.216.34 ;*
 - utilise HTTP ;
- ▶ HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) envoie une requête pour obtenir une ressource sur le serveur web *example.com* : *GET / HTTP/1.1...*
 - Il utilise TCP pour le transport...
 - d'une requête GET ;
- ▶ TCP (*Transmission Control Protocol*) envoie un segment pour *93.184.216.34:80*
 - en utilisant IP (*Internet Protocol*) ;

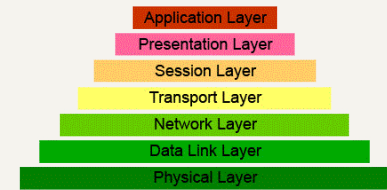


4 - L'architecture TCP/IP

La couche application

Exemple : Requête d'une page web (suite...)

- ▶ IP envoie un datagramme vers son routeur, pour 93.184.216.34
 - son adresse IP source et l'adresse IP 93.184.216.34 du serveur sont spécifiés dans l'en-tête du datagramme ;
 - Il utilise la couche d'accès au réseau ;
- ▶ Qui crée les trames Wi-Fi nécessaires ;
- ▶ Qui seront codées par l'émetteur Wi-Fi pour les transmettre au routeur Wi-Fi. Le routeur trouve la route vers le serveur web et achemine le datagramme ;
- ▶ Le dernier routeur utilise Ethernet pour transmettre les trames du datagramme au serveur web 93.184.216.34

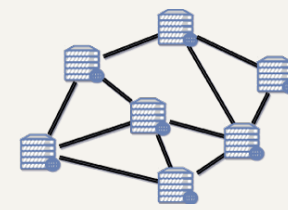


4 - L'architecture TCP/IP

La couche application

Exemple : Requête d'une page web (suite...)

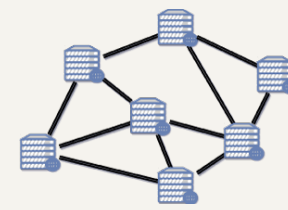
- ▶ Sur le serveur, **frames**, puis **datagramme** IP, puis **segment** TCP sont décapsulés pour fournir au processus HTTP la requête *GET/HTTP/1.1...*
- ▶ HTTP
 - analyse la requête,
 - recherche la ressource
 - l'inclue dans la réponse HTTP : *HTTP/1.1 200 OK...*
- ▶ Cette réponse sera transmise au client via TCP, avec toutes les étapes inverses
- ▶ HTTP du client obtient la réponse via TCP
- ▶ Le navigateur web
 - ▶ interprète cette réponse
 - ▶ l'affiche s'il dispose de toutes les ressources nécessaires
 - ▶ (sinon, il sollicite HTTP pour obtenir les ressources qu'il n'a pas en cache)
- ▶ Voir aussi : <https://www.wireshark.org/>



Contenu du chapitre

❖ *Croisements et Destination*

- Adressage, tables de routage et l'expédition de données dans le réseau IP. Évolution de IPv4 à IPv6.



1 - Objectif de la couche réseau

Objectifs

Couche réseau - Niveau paquet - *Network layer*

- ▶ **Acheminer** des paquets de la source jusqu'à la destination
- ▶ **Choisir les chemins** appropriés à travers le sous-réseau. Ces chemins passent par des **routeurs**
- ▶ Permettre le passage de paquets d'un réseau à un autre
- ▶ Gestion du sous-réseau de transport

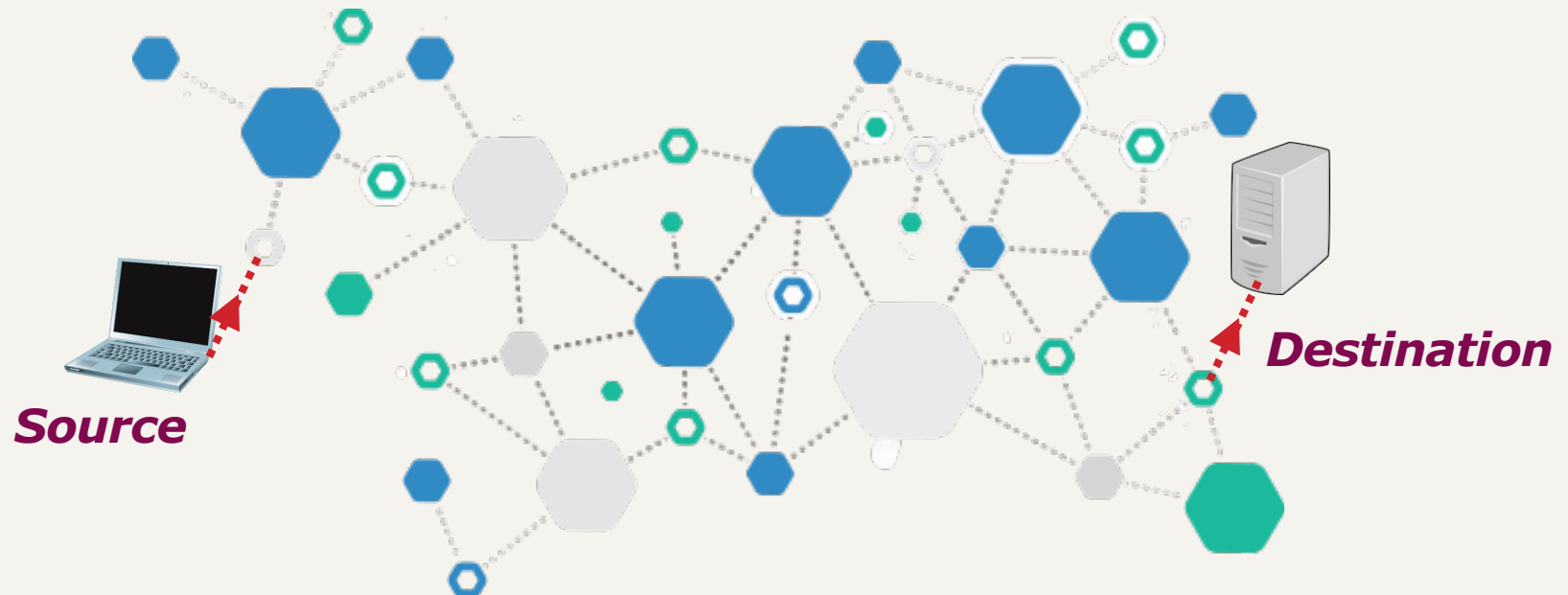
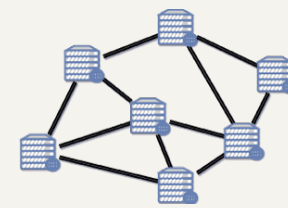


Fig 2.1 - Réseau maillé

La couche réseau

1 - Objectif de la couche réseau



Ch.2

Services de la couche réseau

Ils sont fournis à la couche transport

Couche transport

Couche réseau

Client (utilisateur)

Opérateur réseau (transporteur)

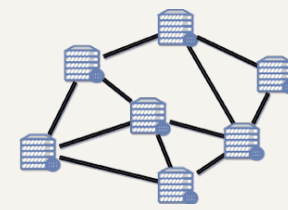
Fig 2.2 - Service de la couche réseau

Types de service :

	Mode	
	non connecté	connecté
non fiable	<i>Mode datagramme</i> 1	2
fiable	3	<i>Circuit virtuel</i> 4

Fig 2.3 - Types de service

La couche réseau

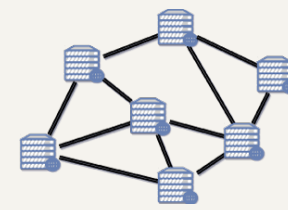


Ch.2

1 - Objectif de la couche réseau

Services de la couche réseau

Critère	Mode sans connexion	Mode orienté connexion
Fonctionnement	Paquets indépendants	Route établie à l'avance
Routage	Chaque paquet peut suivre une route différente	Tous les paquets suivent le même chemin
Avantage	Flexible et tolérant aux pannes	Rapide et efficace
Inconvénient	Traitement plus complexe	Sensible aux pannes de la route
Analogie	Service postal	Service téléphonique
Exemple	Internet / IP	ATM, relais de trame, MPLS



Définitions ; introduction

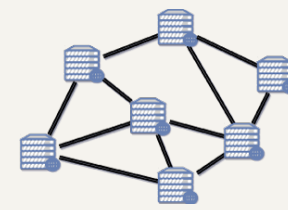
Chemin : suite de liens et de nœuds intermédiaires parcourus pour aller de la source à la destination dans le réseau

Un **algorithme de routage** est la partie du logiciel de réseau responsable du **choix d'une ligne de sortie** d'un routeur en fonction de la destination d'un paquet entrant

À cette fin, chaque routeur gère **une table de routage**

On distingue :

- Des algorithmes non adaptatifs
 - Le routage est **statique**
 - Les routes sont calculées à l'avance
 - Cf. commande **route** des systèmes Unix et Linux
- Des algorithmes adaptatifs
 - Le routage est **dynamique**
 - Les décisions de routage sont modifiées en fonction de changements (trafic, topologie, etc.)



Définitions ; introduction

La **métrique** utilisée est une fonction de :

- La distance géographique
- Le nombre de sauts
- Le temps d'acheminement (temps de transit + délais d'attente dans les routeurs)
- Le coût de transport
- ...
- Ou bien une **fonction pondérée** de variables ci-dessus

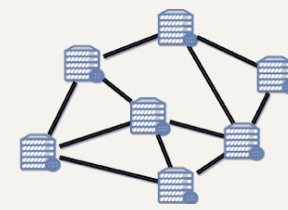
La **table de routage** est utilisée pour la fonction de **relayage** de paquets

- Pour **acheminer** le paquet vers le prochain saut
- FIB, *Forwarding Information Base*, table d'information d'acheminement

RIB, *Routing Information Base*, table de routage :

- Permet de **calculer** et de choisir les chemins
- RIB est mis à jour par l'algorithme de routage

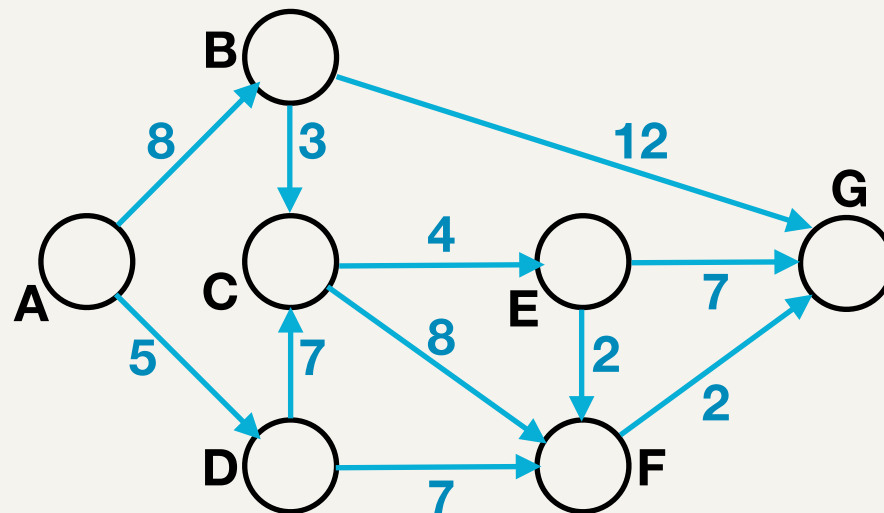
Voir : <https://www.youtube.com/watch?v=EPo7QyB7Yss>

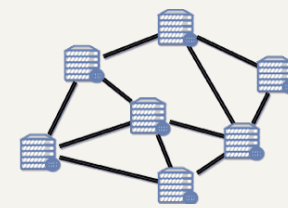


Exemples de routage

Routage du plus court chemin - *Shortest Path Routing*

- Algorithme de **Dijkstra**
- Voir <https://licence-math.univ-lyon1.fr/lib/exe/fetch.php?media=gla:dijkstra.pdf>
- **Exercice :**
- Voir <https://utc505.seancetenante.com/documents/Exercices-UTC505-algorithme-de-Dijkstra.docx>
 - Calculer le plus court chemin entre A et G.
 - Par quels nœuds passe ce chemin ? Quel coût a ce chemin entre A et G ?

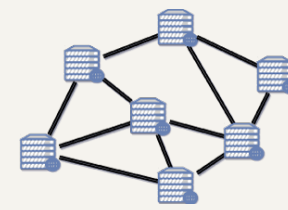




Exemples de routage

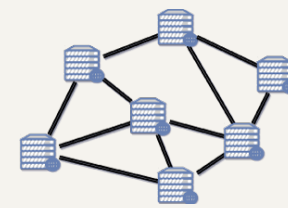
Routage à vecteur de distance - *Distance Vector Routing*

- Ce routage dynamique a été utilisé dans **Arpanet**
- Il reste utilisé avec **RIP** (*Routing Information Protocol*)
- Un vecteur de distance est, pour un routeur R et une destination N connue :
 - $V_{RN} = [d_{RN}, L_{RN}]$
avec d_{RN} : meilleure distance connue et L_{RN} : la ligne pour atteindre N
- Chaque routeur R du réseau maintient sa table de routage :
 - $[N, V_{RN}]$
soit $[N, d_{RN}, L_{RN}]$
 - et la diffuse aux routeurs voisins
- Chaque nœud R :
 - Apprend ainsi ce que chaque voisin V peut atteindre
 - Met à jour sa propre table :
 - Ajout d'une entrée si le voisin indique une nouvelle destination
 - Calcul et comparaison pour les destinations connues
 - Si $d_{RN} > d_{VN} + d_{RV}$ alors l'entrée $[N, d_{RN}, L_{RN}]$ est remplacé par $[N, d_{VN} + d_{RV}, L_{RV}]$



Exemples de routage

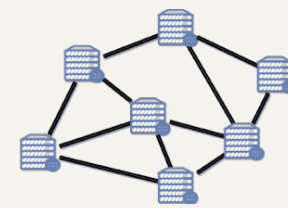
- Voir www.youtube.com/watch?v=kzablGaqUXM
- Ce routage à vecteur de distance doit être amélioré pour assurer une convergence plus rapide et pour éviter la création de boucle dans le réseau.
- On utilise pour cela la technique de l'horizon coupé (*Split Horizon*)



Exemples de routage

Routage par information d'état de liens - *Link State Routing*

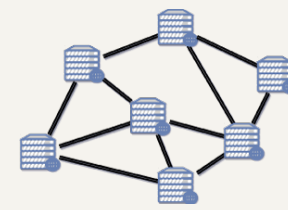
- ▶ Chaque routeur R doit :
 - ▶ Découvrir ses voisins ; un voisin V $\Rightarrow$ un lien R $\rightarrow$ V
 - ▶ Déterminer la distance de chaque voisin : d_{RV}
 - ▶ Construire un paquet d'**information d'état de lien** [R , V , d_{RV}]
 - ▶ À chaque changement significatif, R ne diffuse que les modifications d'information d'état de liens qu'il a détecté. La diffusion concerne un sous-réseau nommé aire ou zone (*area*)
 - ▶ Chaque nœud R entretient une table de routage composée de rangées [D , V , d_{RD}] = Nœud destination, Nœud suivant, coût total et la réception de paquet d'information d'état de lien implique la mise à jour de la table suivant l'algorithme de Dijkstra
- ▶ **OSPF** (*Open Shortest Path First*) est un routage d'internet qui utilise ce routage par information d'état de liens
- ▶ Voir : www.youtube.com/watch?v=-utHPKREZV8



Exemple de table de routage

Exemple d'une table de routage IPv4 sur un ordinateur (192.168.0.100) connecté à Internet via une box (192.168.0.1)

Réseau destination (format CIDR)	Masque	Passerelle	Interface	Métrique
0.0.0.0/0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.100	1
127.0.0.0/8	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0/24	255.255.255.0	192.168.0.100	192.168.0.100	1
192.168.0.100/32	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.1/32	255.255.255.255	192.168.0.100	192.168.0.100	1



Exemple de table de routage

Route par défaut

- Réseau destination : **0.0.0.0/0**
- Il s'agit de la route par défaut, utilisée lorsqu'aucune autre route ne correspond
- Tous les paquets qui ne correspondent à aucune autre entrée seront envoyés au routeur 192.168.0.1 via l'interface 192.168.0.100

Réseau de bouclage (Loopback)

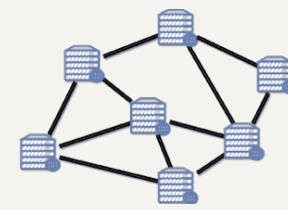
- Réseau destination : **127.0.0.0/8**
- Cette entrée gère le trafic pour le réseau de bouclage (localhost)
- Les paquets destinés à ce réseau sont acheminés vers l'interface 127.0.0.1

Réseau local

- Réseau destination : **192.168.0.0/24**
- Cette entrée concerne le réseau local 192.168.0.0/24
- Les paquets destinés à ce réseau sont acheminés directement via l'interface 192.168.0.100

Adresse IP spécifique

- Réseau destination : **192.168.0.100/32**
- Cette entrée est spécifique à l'adresse IP 192.168.0.100
- Les paquets destinés à cette adresse sont acheminés via l'interface de bouclage 127.0.0.1



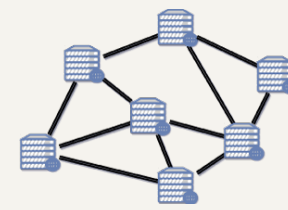
Exemple de table de routage

Adresse IP spécifique

- Réseau destination : **192.168.0.1/32**
- Cette entrée est spécifique à l'adresse IP 192.168.0.1 (probablement la passerelle par défaut)
- Les paquets destinés à cette adresse sont acheminés via l'interface 192.168.0.100

Informations complémentaires

- Le masque indique quels bits de l'adresse IP correspondent au réseau.
- La passerelle est l'adresse IP du prochain saut pour atteindre le réseau de destination.
- L'interface est l'interface réseau utilisée pour envoyer les paquets.
- La métrique (toujours 1 ici) est utilisée pour déterminer la meilleure route lorsque plusieurs routes sont disponibles.



Protocoles de routage

RIP (*Routing Information Protocol*) ; RFC 1058 et RFC 1721 à 1723 pour RIP-2

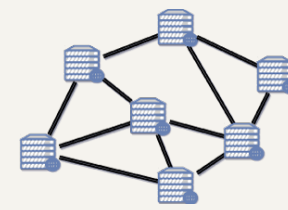
- Protocole simple parfois utilisé en Intranet
- Anciennement utilisé dans internet, mais remplacé par les protocoles ci-dessous.

OSPF (*Open Shortest Path First*)

- Protocole de routage interne IP, de type 'à état de lien de liens'.
- OSPFv2 est décrite dans la RFC 2328 en 1997
- OSPFv3 permet l'utilisation d'OSPF dans un réseau IPv6. Voir RFC 2740

IS-IS (*Intermediate system to intermediate system*)

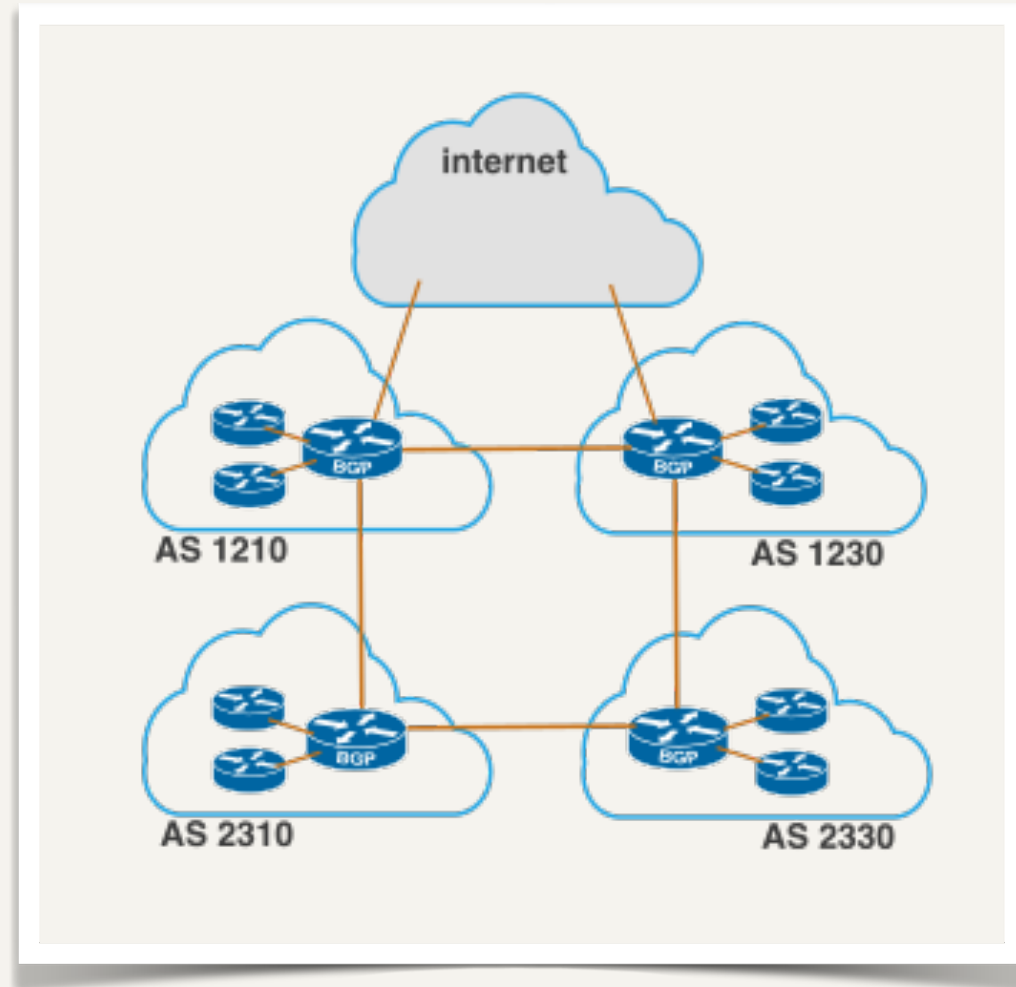
- Protocole de routage interne multi-protocoles à état de liens
- Norme ISO/CEI 10589:2002 également publié par l'IETF avec la RFC 1142
- IS-IS est un protocole à état de liens utilisé à l'intérieur d'un *autonomous system*. Il est apprécié dans des grands réseaux de fournisseurs de services.

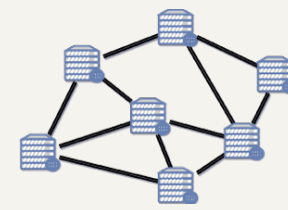


Protocoles de routage

BGP (*Border Gateway Protocol*)

- Protocole d'échange d'informations de routage entre *Autonomous Systems* (AS). RFC 4271.
- BGP prend en charge le routage sans classe et utilise l'agrégation de routes afin de limiter la taille de la table de routage.
- La stratégie de routage tient compte de contraintes politiques, économiques ou de sécurité
- BGP est principalement utilisé entre les opérateurs et fournisseurs d'accès à Internet pour l'échange de routes, à travers des services de transit ou de peering.





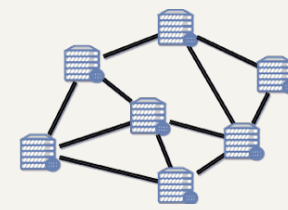
Besoins d'interconnexion

Lorsque plusieurs réseaux sont interconnectés, on parle d'**inter-réseau** ou de réseau de réseaux

- Le terme **internet** provient justement d'**internetwork**

Grande diversité des réseaux, des technologies et des besoins d'interconnexion

- Type de service (avec ou sans connexion)
- Protocole (IP, IPX, ATM, MPLS, etc.)
- Adressage
- Taille de paquets
- Qualité de service
- Contrôle de flux et de congestion
- Sécurité (règles de confidentialité, chiffrement, etc.)
- Facturation



Équipements d'interconnexion

Au dessous de la couche réseau, on trouve :

- Les **répéteurs** et les **hubs** (couche physique)
- Les **ponts** et les **commutateurs** (couche liaison de données)
 - Copier et faire suivre des trames

Les passerelles opèrent à des couches supérieures à la couche réseau

Les équipements qui opèrent au niveau de la couche réseau sont des **routeurs**

- Le routeur utilise des adresses logiques (de niveau 3), indépendantes des adresses physiques

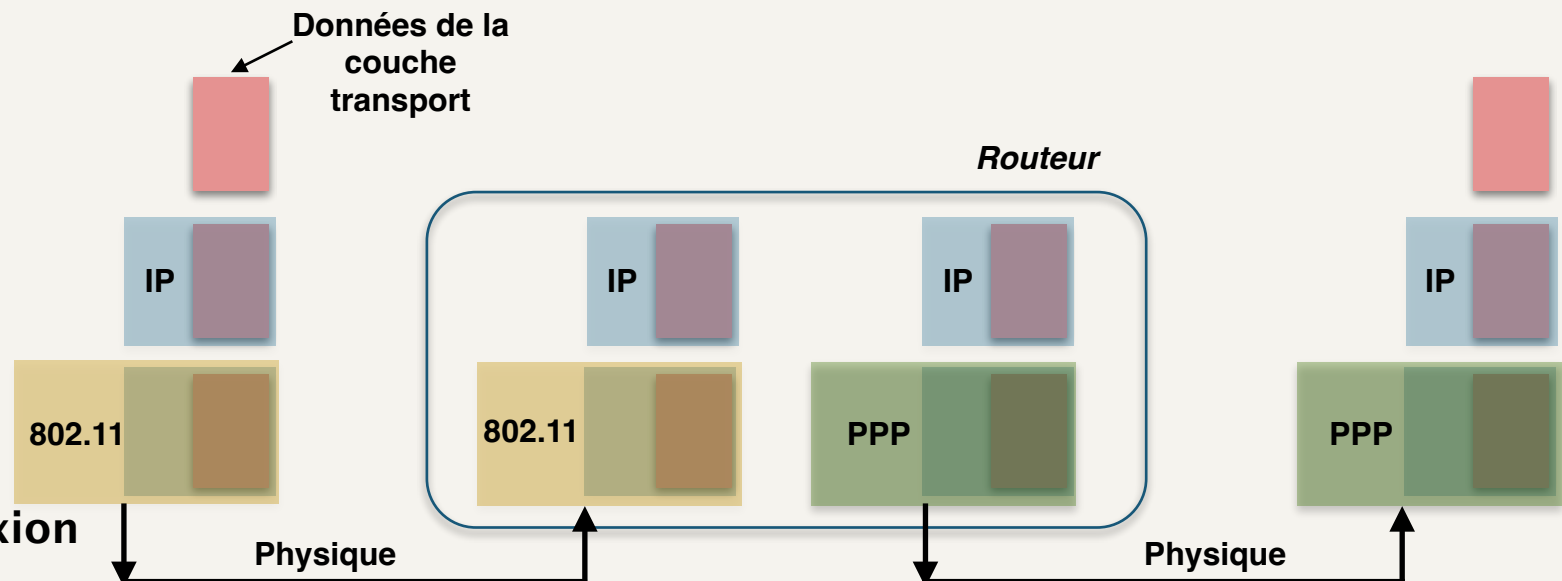
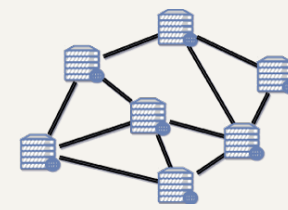


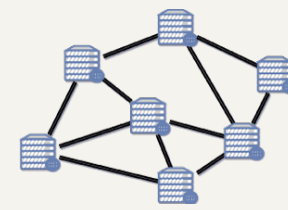
Fig 2.4 - Interconnexion avec un routeur



Équipements d'interconnexion

La technique du tunnel

- Les machines d'extrémité sont sur un réseau de même type, mais elles sont séparées par un réseau différent
- Une solution d'interconnexion passe par la technique du tunnel ou le paquet source est encapsulé par le routeur qui ajoute son entête de niveau 3
- Cette technique est souvent utilisée au niveau de couche supérieure (VPN = *Virtual Private Network*)

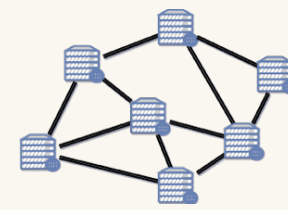


4 - La couche Internet - Présentation

Architecture TCP/IP

❖ Dans cette partie, ou presque :

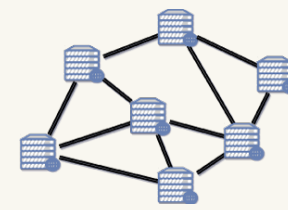
- Historique (*recherche personnelle à faire*)
- La couche Internet ; le protocole IP
- Les adresses IP v4
- Sous réseaux
- IP v6
- Autres protocoles de la couche internet
- La couche transport de TCP/IP (Ch. 5)



4 - La couche Internet - Présentation

Couche internet

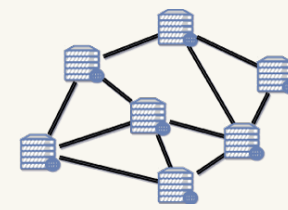
- Nommée couche *internet* ou couche *inter-réseau*
- Au même niveau de la couche **réseau** d'OSI
- Objectif :
 - Permettre aux hôtes d'introduire des paquets nommés datagrammes sur n'importe quel réseau
 - Acheminer ces datagrammes indépendamment les uns des autres jusqu'à destination.
- Des datagrammes peuvent arriver dans un ordre différent, ou se perdre



4 - La couche Internet - Le protocole IP

Couche internet

- La couche internet définit :
 - Un **protocole** nommé **IP** (*Internet Protocol*)
 - Le format des datagrammes IP
 - Un protocole compagnon, **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*), qui assure le routage des datagrammes et la gestion des congestions
- Le protocole IP (*Internet Protocol*) est **non fiable, sans connexion**
- Si une fiabilité est nécessaire pour le transfert de données, elle sera assurée par le protocole TCP (*Transmission Control Protocol*) de la couche transport



4 - La couche Internet - Le protocole IP

L'en-tête du datagramme IPv4

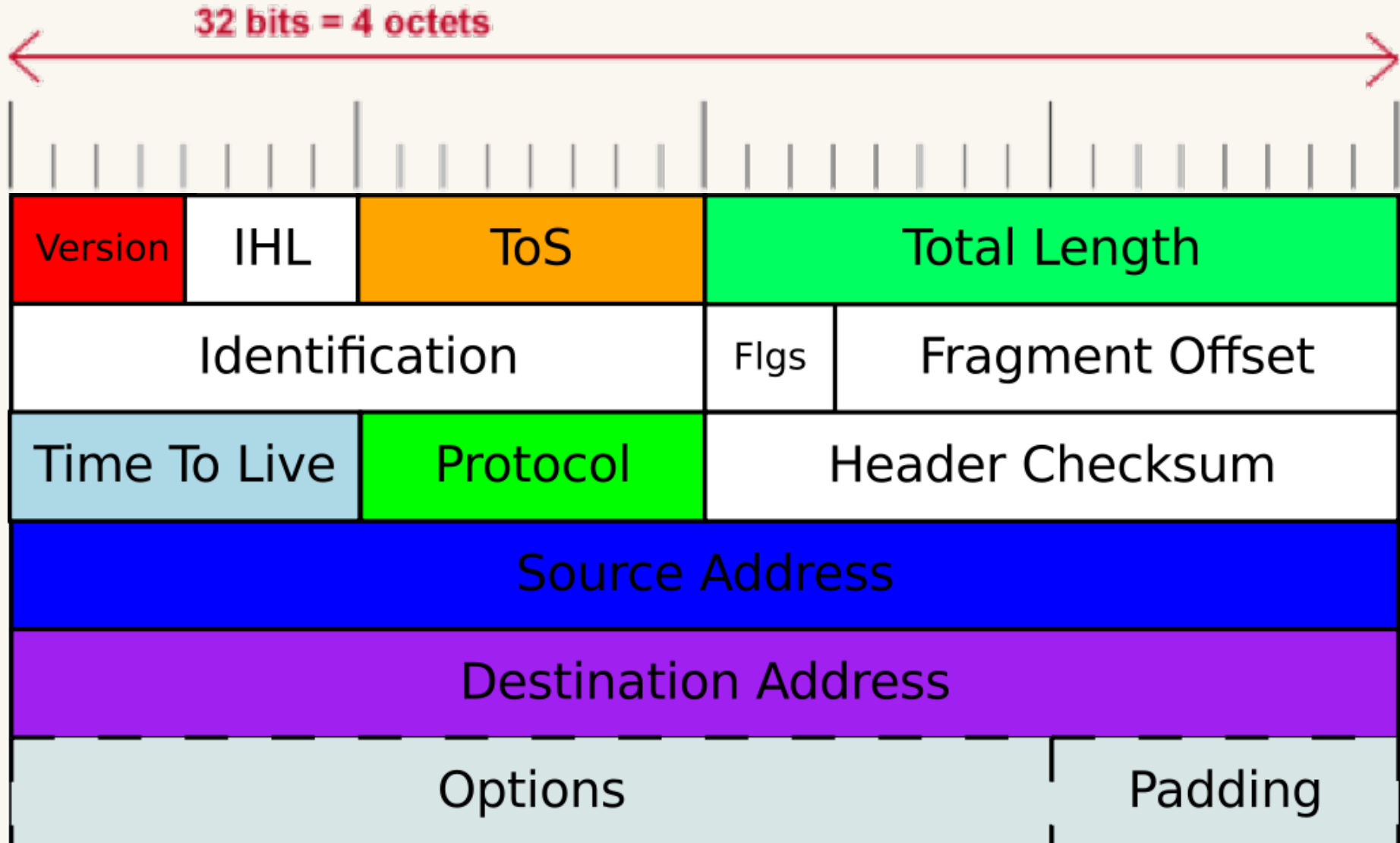
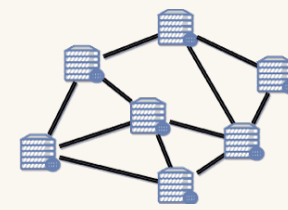


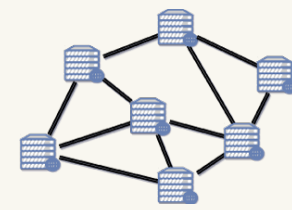
Fig 2.5 - L'en-tête du datagramme IPv4



4 - La couche Internet - Le protocole IP

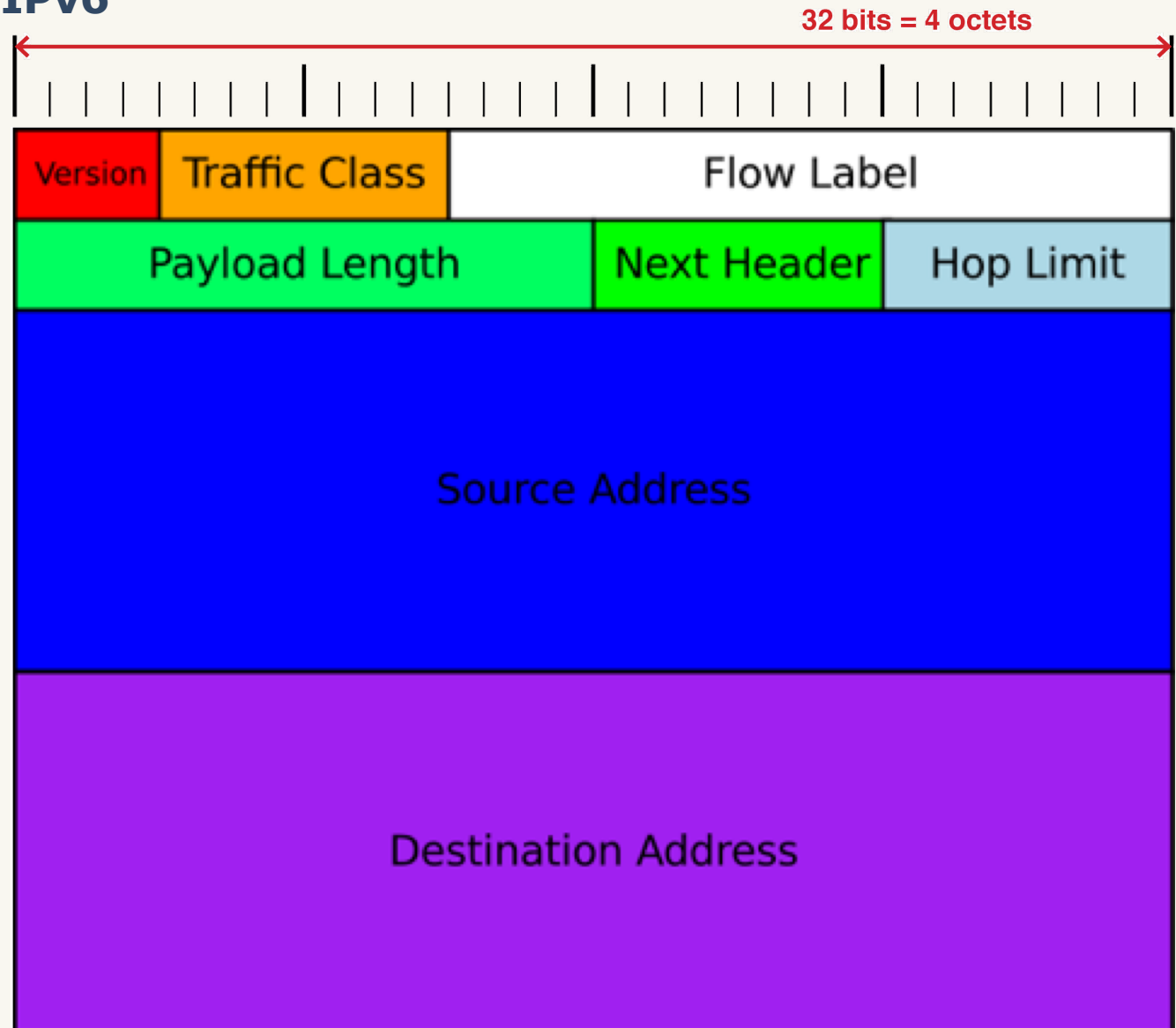
Le datagramme IPv4

- L'en-tête est de 20 à 60 octets
 - **Version IP (4 bits) = 4**
 - **IHL, Internet Header Length** ; longueur en-tête en nombre de mots de 32 bits (4 bits)
 - **ToS, Type de service** ; (8 bits)
 - **Longueur totale, en octets, du datagramme (16 bits)**
 - Identification ; identifier les fragments d'un paquets(16 bits)
 - *Flgs* : Indicateurs ou Flags (3 bits)
 - *Fragment offset* (13 bits)
 - **TTL, Time To Live : Durée de vie (8 bits)**
 - **Protocol** ; n° de protocole de transport (8 bits)
 - *Header Checksum* ; somme de contrôle de l'en-tête (16 bits)
 - **Adresse source (32 bits)**
 - **Adresse destination (32 bits)**
 - Options (0 à 40 octets)
 - *Padding* ; remplissage ; tel que l'en-tête soit un multiple de 32 bits



4 - La couche Internet - Le protocole IP

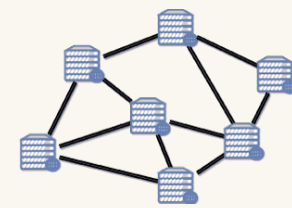
L'en-tête du datagramme IPv6



► Un en-tête IPv6 de 40 octets

Adresses IPv6 de 16 octets,
soit 128 bits

Fig 2.6 - L'en-tête du datagramme IPv6



4 - La couche Internet - Le protocole IP

L'en-tête du datagramme IPv6

- **Version IP** (4 bits) = 6
- *Traffic class* : Classe de trafic ; QoS et indication de congestion (8 bits)
- *Flow label* : Marquage de flux (20 bits)
- *Payload length* : Taille de la charge utile en octets (16 bits)
- *Next header* : Type de l'en-tête suivant (8 bits)
- *Hop limit* : TTL ou Time To Live ou nombre limite de sauts (8 bits)
- **Adresse source** (128 bits)
- **Adresse destination** (128 bits)

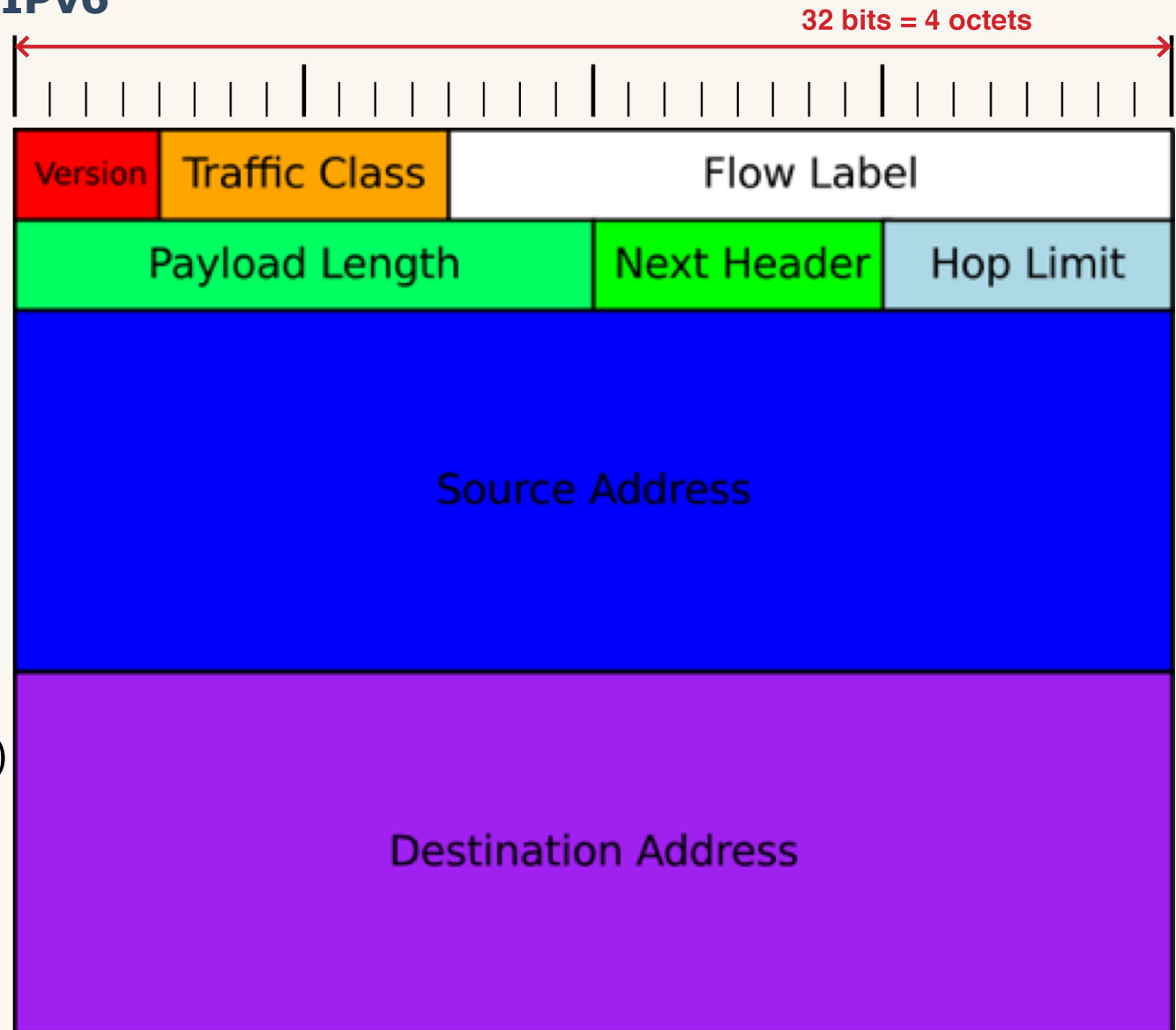
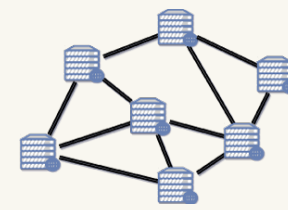


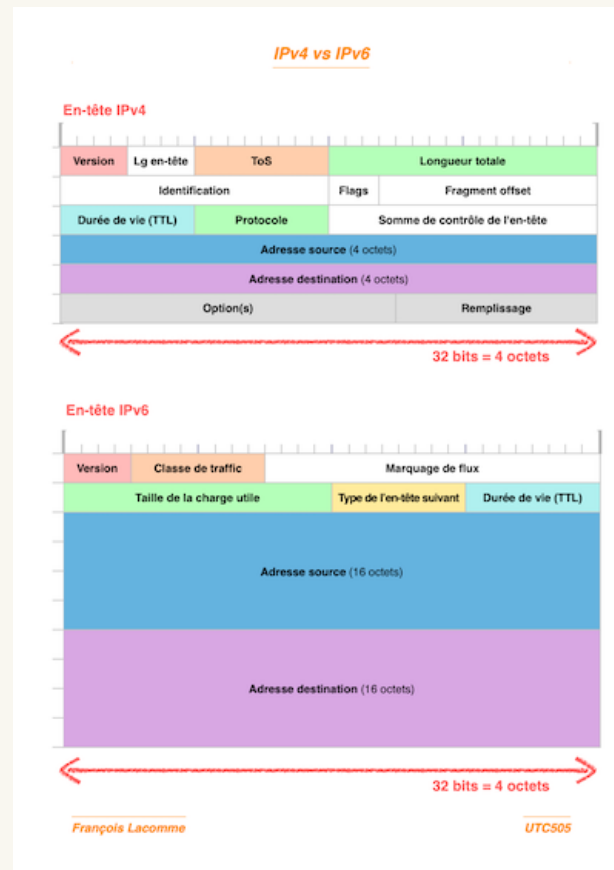
Fig 2.6 - L'en-tête du datagramme IPv6

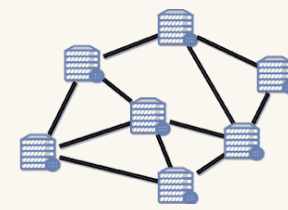


4 - La couche Internet - Le protocole IP

Comparaison des en-têtes IPv4 et IPv6

- Voir : utc505.seancetenante.com/documents/IPv4-vs-IPv6.pdf

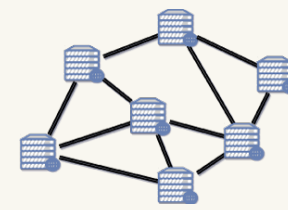




4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Introduction

- Une adresse IPv4
 - Une valeur sur **32 bits** (4 octets) qui identifie **de façon unique** chaque interface réseau d'**un réseau** TCP/IP
 - Par convention on exprime une adresse IPv4 avec la notation **décimale pointée** :
 - 4 octets exprimés en décimal, séparés par des points « . »
- Exemple 1 :
 - 192.**41**.6.120 en décimal pointé
 - 11000000 **00101001** 00000110 01111000 en binaire
- **41** = 128x0 + 64x0 + 32x1 + 16x0 + 8x1 + 4x0 + 2x0 + 1x1
- Comment convertir du décimal en binaire :
 - fr.wikihow.com/convertir-du-décimal-en-binaire



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Exemple 1

172 . 16 . 254 . 1

↓ ↓ ↓ ↓

10101100.00010000.11111110.00000001

└───┬───┘ └───┬───┘

1 octet = 8 bits

└──┘

32 bits (4 * 8), ou 4 octets

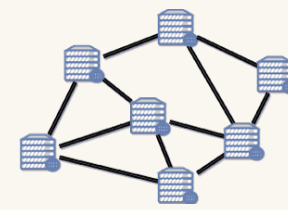
Exemple 2

191 . 32 . 127 . 15

↓ ↓ ↓ ↓

10111111.00100000.01111111.00001111

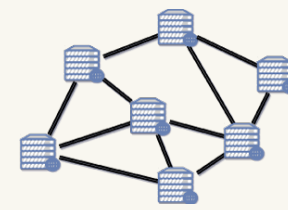
Fig 2.7 -Deux exemples de conversion d'adresse IP (décimal vers binaire)



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Structure d'une adresse IPv4

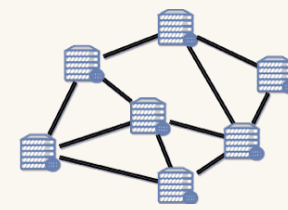
- Une adresse IPv4 permet d'identifier :
 - un **réseau**
 - l'**interface réseau** d'un équipement sur **ce réseau** [on parle, improprement, d'hôte (*host*)]
- Pour déterminer l'**identifiant réseau**, on doit connaître le **masque d'adresse**
- Un masque d'adresse est **une suite de bits à 1** suivie d'**une suite de bits à 0** (le tout sur 32 bits)



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Masque d'adresse

- ▶ On exprime un masque d'adresse :
 - ▶ soit avec la **longueur du préfixe**, donc le nombre de bits à 1 (ex. /20)
 - ▶ Cette longueur du préfixe est souvent abrégé en '**préfixe**'
 - ▶ On parle de **notation CIDR** (*Classless Inter-Domain Routing*)
 - ▶ soit en **décimal pointé** (ex. 255.255.240.0)
- ▶ Exemple :
 - ▶ La notation CIDR **191. 32.127.15/20** correspond à une adresse **191. 32.127.15** associé au masque **255.255.240.0**
- ▶ Un **ET logique** ($\wedge$) entre une adresse et un masque permet de déterminer l'**identifiant réseau**
- ▶ L'adresse IPv4 $\wedge$ le complément à un du masque détermine l'**identifiant d'une interface-réseau** (ou, improprement, l'identifiant d'hôte [*host ID*])



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

❖ Exemple 1

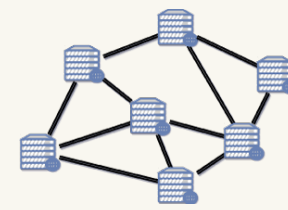
Identifiant réseau

	172. 16.254. 1	10101100.00010000.11111110.00000001
∧	255.255.255. 0	11111111.11111111.11111111.00000000
=	172. 16.254. 0	10101100.00010000.11111110.00000000

Identifiant d'hôte (ou plutôt d'interface réseau) dans un réseau

	172. 16.254. 1	10101100.00010000.11111110.00000001
∧	0. 0. 0.255	00000000.00000000.00000000.11111111
=	0. 0. 0. 1	00000000.00000000.00000000.00000001

Fig 2.8 - Exemple 1 de calcul des identifiants réseau et hôte d'une adresse IPv4



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

❖ Exemple 2

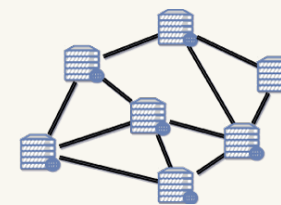
▸ Identifiant réseau

191. 32.127.15	10111111.00100000.01111111.00001111
∧ 255.255.240. 0	11111111.11111111.11110000.00000000
= 191. 32.112. 0	10111111.00100000.01110000.00000000

▸ Identifiant d'hôte (ou plutôt d'interface réseau) dans un réseau

191. 32.127. 15	10111111.00100000.01111111.00001111
∧ 0. 0. 15.255	00000000.00000000.00001111.11111111
= 0. 0. 15. 15	00000000.00000000.00001111.00001111

Fig 2.9 - Exemple 2 de calcul des identifiants réseau et hôte d'une adresse IPv4



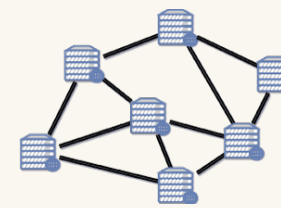
4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Masque naturel

- Si aucune indication de masque d'adresse n'est donnée pour une adresse IPv4, on utilise Le **masque naturel** ou **masque d'adresse par défaut**.
- Le masque naturel est déterminé en fonction d'une ancienne subdivision de l'espace d'adressage d'IP v4 en **5 classes d'adresse**

Classe	Bits de départ	Début	Fin	Notation CIDR	Masque de sous-réseau par défaut
Classe A	0	0.0.0.0	127.255.255.255	/8	255.0.0.0
Classe B	10	128.0.0.0	191.255.255.255	/16	255.255.0.0
Classe C	110	192.0.0.0	223.255.255.255	/24	255.255.255.0
Classe D (multicast)	1110	224.0.0.0	239.255.255.255	/8	non défini
Classe E (réservée)	1111	240.0.0.0	255.255.255.255		non défini

Fig 2.10 - Tableau de 5 classes d'adresse



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Masque de sous-réseau

- ▶ *Subnetting* : technique qui consiste à diviser un réseau plus large en **plusieurs sous-réseaux**
- ▶ Pour subdiviser un réseau en sous-réseaux (*subnet*), on applique **un autre masque d'adresse**.
- ▶ On divise en fait la partie « identifiant d'hôte » en 2 parties :
 - ▶ un identifiant de sous-réseau (*Subnet number*)
 - ▶ un identifiant d'hôte sur un sous-réseau (*Host number*)

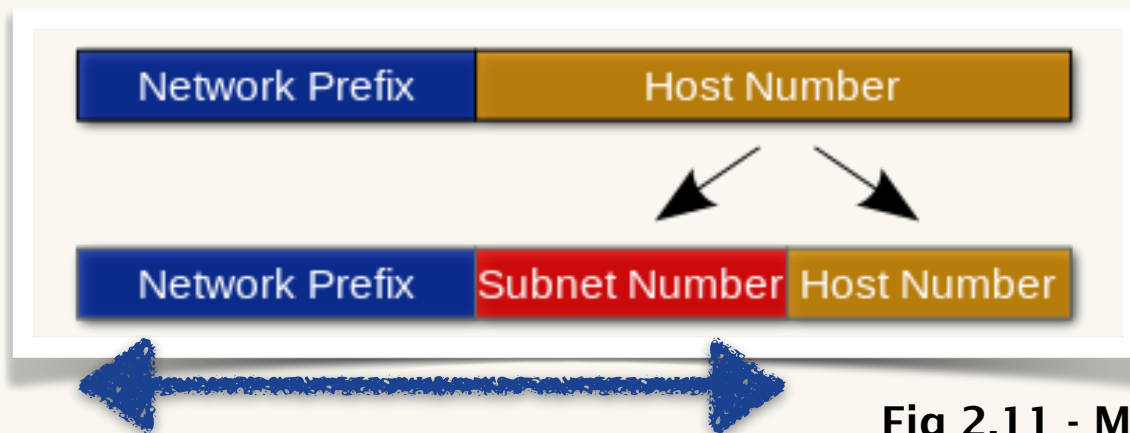
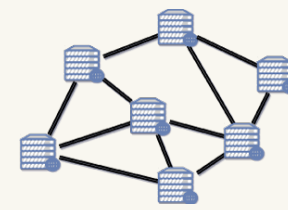


Fig 2.11 - Masque de sous-réseau

- ▶ Le masque d'adresse local, ou masque de sous-réseau s'étend jusqu'au champ « **identifiant de sous-réseau** »

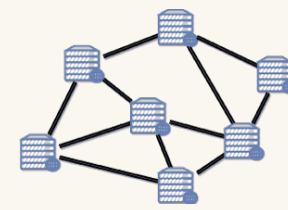


4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Exemples

❖ Exemple 1

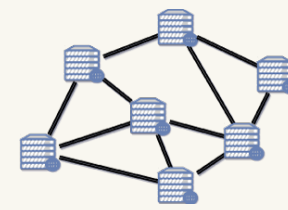
- Une entreprise dispose du bloc d'adresse : 197.201.30.0 / 24
 - Le masque associé est donc : 255.255.255.0
- On souhaite créer 16 sous-réseaux :
 - Le masque de sous-réseau voit sa longueur augmenter de 4 (car $2^4 = 16$)
 - ce masque devient donc 255.255.255.240
 - car $240 \equiv 11110000_b$
 - (on peut écrire « 255.255.255.11110000 » si cela facilite les calculs)
- Le bloc devient : 197.201.30.0 / 28 pour le premier sous-réseau
 - Les trois premiers octets sont ceux de l'adresse réseau : 197.201.30.0
 - les quatre bits de poids forts du 4^e octet donne l'adresse de sous-réseau
 - les quatre bits de poids faible du 4^e octet donne l'identifiant d'hôte dans le sous-réseau



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

Exemples

- ❖ (Suite exemple 1)
 - ▶ Le premier sous-réseau, 197.201.30.0 / 28, peut contenir les hôtes d'adresses 197.201.30.1 à 197.201.30.14
 - ▶ Il est en effet d'usage d'exclure 197.201.30.0 (qui identifie ce 1^{er} sous-réseau) et 197.201.30.15, qui est utilisé pour une diffusion dans ce sous-réseau.
 - ▶ Comment s'écrit le 2^e sous-réseau ?
 - ➔ 197.201.30.16 / 28



4 - La couche Internet - Les adresses IPv4

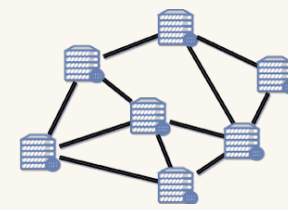
Exemples

❖ Exemple 2

- ▶ Un datagramme IP a pour champs d'adresse IPv4 :
 - ▶ Adresse source = 193.49.66.200
 - ▶ Adresse destination = 193.49.66.29

- ▶ Où se trouvent les ordinateurs source (S) et destination (D) par rapport :
 - ▶ Au réseau de préfixe /24 ?
 - ▶ Aux sous-réseaux de préfixe /28 ?

- ➔ S et D sont sur le même réseau 193.49.66.0 / 24
 - ▶ Le masque d'adresse est 255.255.255.0
 - ▶ Pour S comme pour D, l'identifiant réseau vaut 193.49.66.0



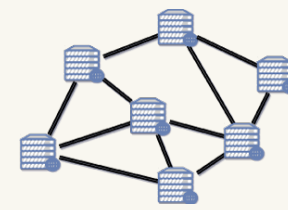
4 - La couche Internet - Sous-réseau IPv4

Exemples

❖ (Suite exemple 2)

	Adresse IP	Dernier octet en binaire
	— — — — —	— — — — —
S	193. 49. 66.200	1100'1000
D	193. 49. 66. 29	0001'1101
M	255.255.255.240	1111'0000
$S \wedge M$	193. 49. 66.192	1100'0000
$D \wedge M$	193. 49. 66. 16	0001'0000

- ➔ S est sur le sous-réseau 193.49.66.192 / 28
- ➔ D est sur un autre sous-réseau 193.49.66.16 / 28



4 - La couche Internet - Sous-réseau IPv4

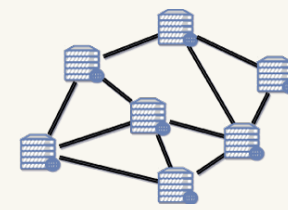
Exemples

❖ (Suite exemple 2)

- ▶ On peut aussi utiliser une notation mixte 'décimal.binaire' :

▶	Adresse IP	Notation mixte
S	193. 49. 66.200	193. 49. 66.1100'1000
D	193. 49. 66. 29	193. 49. 66.0001'1101
M	255.255.255.240	255.255.255.1111'0000
$S \wedge M$	193. 49. 66.192	193. 49. 66.1100'0000
$D \wedge M$	193. 49. 66. 16	193. 49. 66.0001'0000

- ➔ S est sur le sous-réseau 193.49.66.192 / 28
- ➔ D est sur un autre sous-réseau 193.49.66.16 / 28



4 - La couche Internet - Sous-réseau IPv4

Agrégation d'adresses - CIDR

- Face à la taille croissante d'Internet, **CIDR**, *Classless Inter-Domain Routing* est mis au point dès 1993 afin de réduire les tailles de table de routage.
- **CIDR** (qui se prononce 'cider') rend la notion de classe d'adresse obsolète
- L'idée est de :
 - permettre le découpage de l'espace d'adressage en **blocs de taille variable**
 - distribuer les blocs d'adresses contiguës à des gros FAI (Fournisseur d'accès à Internet = ISP = *Internet Service Provider*) et en tenant compte de la topologie du réseau
 - modifier les protocoles de routage pour qu'une adresse IP soit accompagnée de la longueur du préfixe associée (VLSM : *Variable-Length Subnet Mask*)



4 - La couche Internet - Adresses particulières ; adressage privé

Adresses particulières

- 0.0.0.0 :
 - soit la route par défaut des tables de routage (la passerelle par défaut)
 - soit « cet hôte » (au démarrage d'une station)
- Id_réseau à 0 : ce réseau local. Ex. 0.0.0.108 => l'hôte #108 sur ce réseau local
- Id_hôte tout à 1 : diffusion sur ce réseau
- 255.255.255.255 : *Broadcast* (diffusion générale) sur le réseau local
- 127.0.0.0/8 : test de bouclage. On utilise plutôt 127.0.0.1 ($\approx$ *localhost*)
- 169.254.0.0/16 : adresses locales auto-configurées (RFC 3927)
 - APIPA (*Automatic Private Internet Protocol Addressing*)
 - Lorsqu'il n'y a pas de serveur DHCP



4 - La couche Internet - Adresses particulières ; adressage privé

Adressage privé

- Le RFC 1918 réserve des plages d'adresses à usage **privé**
 - **Non routées** sur internet
 - Au sein de réseaux locaux

<u>Préfixe</u>	<u>Plage d'adresse</u>	<u>Nombre d'adresses</u>
▸ 10.0.0.0 / 8	10.0.0.0 – 10.255.255.255	16 777 216
▸ 172.16.0.0 /12	172.16.0.0 – 172.31.255.255	1 048 576
▸ 192.168.0.0 /16	192.168.0.0 – 192.168.255.255	65 536

- Pour relier un réseau privé à l'Internet, on utilise NAT (*Network address translation*), généralement intégré à un routeur, ou NAPT (*Network address & port translation*)



4 - La couche Internet - Adresses particulières ; adressage privé

NAPT (Network Address and Port Translation)

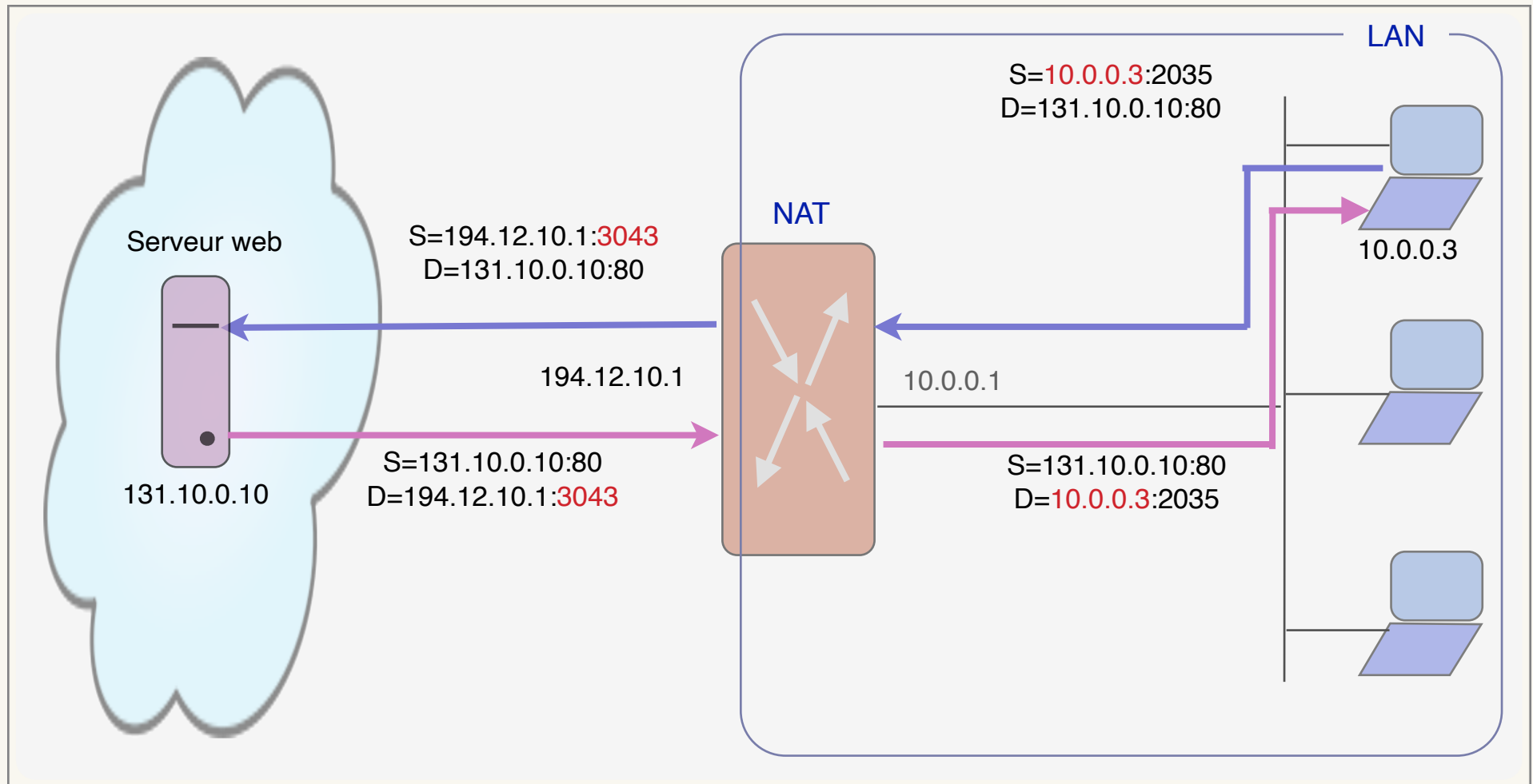
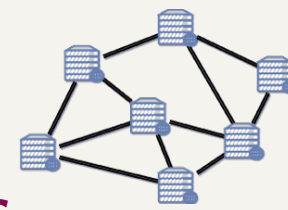


Fig 2.12 -Fonction NAPT d'un routeur



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration dynamique

- * La **configuration dynamique** d'interface réseau est la plus simple
 - L'ensemble des paramètres IP est délivré par un **serveur DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*)
 - Ce serveur DHCP peut être associé au routeur de bordure du réseau local

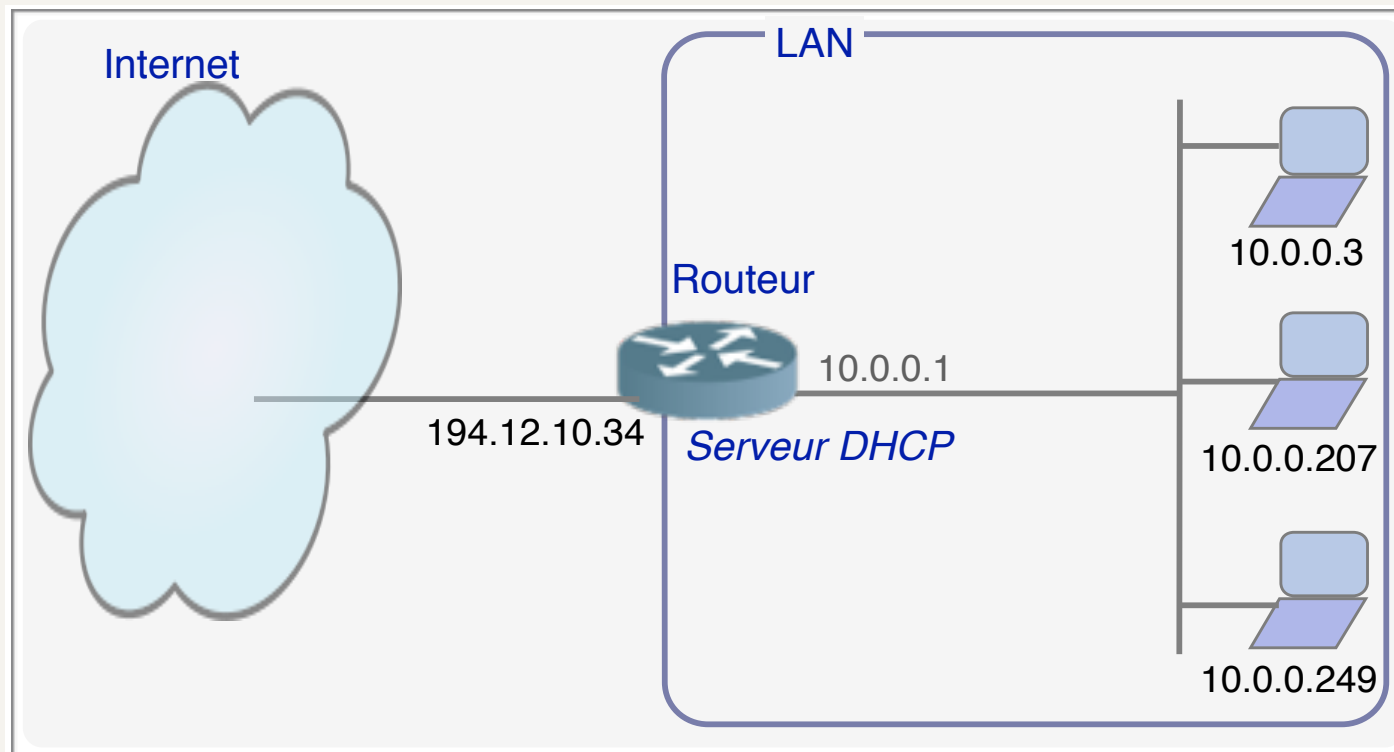
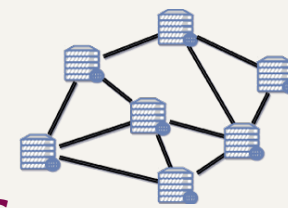


Fig 2.13 - Serveur DHCP associé à un routeur



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration dynamique

- ❖ Avec Windows 11, 10, 8.1 ou 7
 - ▶ Lien : <https://support.microsoft.com/fr-fr/windows/modifier-les-paramètres-tcp-ip-bd0a07af-15f5-cd6a-363f-ca2b6f391ace>
 - ▶ Éditez les propriétés de la connexion (interface réseau) à modifier, puis éditez les propriétés de l'élément « *Protocole Internet version 4 (TCP/IPv4)* ».

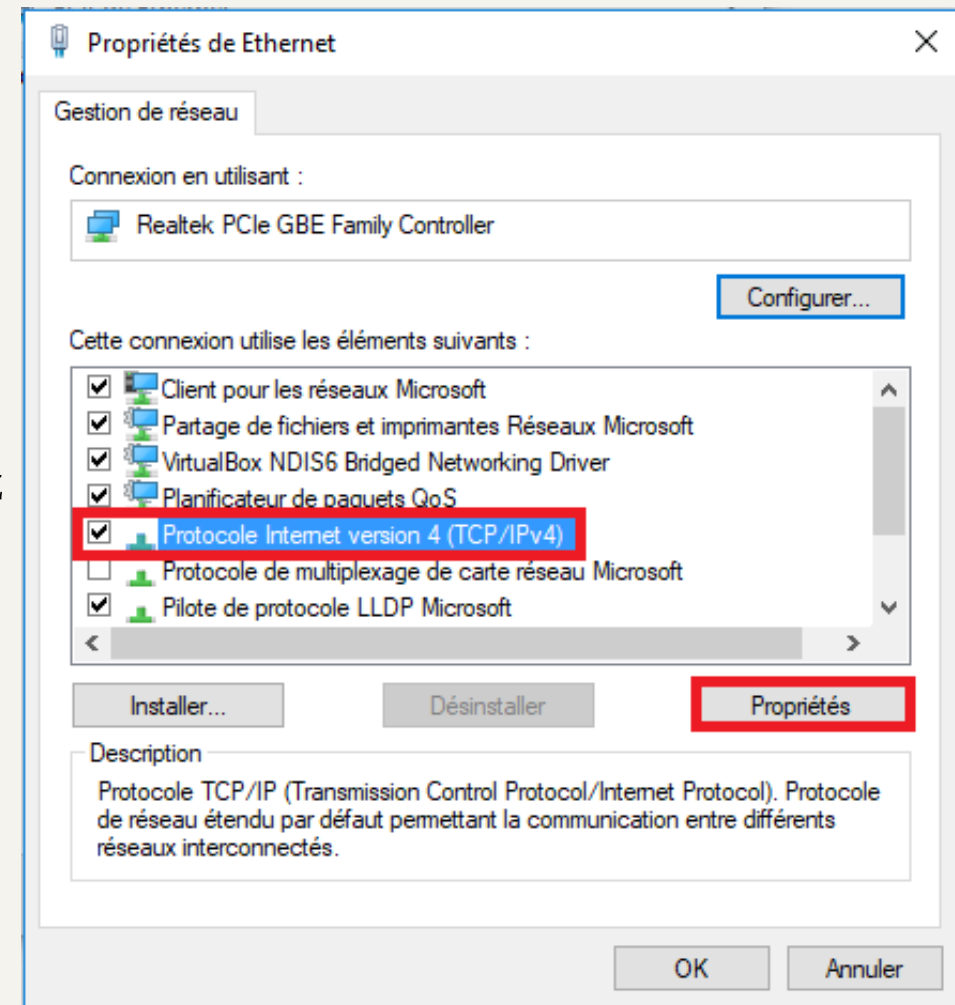
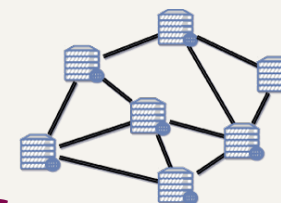


Fig 2.14 - Propriétés de 'Protocole Internet v4' sous Windows



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration dynamique

- ❖ Avec Windows 11, 10, 8.1 ou 7
 - ▶ Lien : <https://support.microsoft.com/fr-fr/windows/modifier-les-paramètres-tcp-ip-bd0a07af-15f5-cd6a-363f-ca2b6f391ace>
 - ▶ Éditez les propriétés de la connexion (interface réseau) à modifier, puis éditez les propriétés de l'élément « *Protocole Internet version 4 (TCP/IPv4)* ».
 - ▶ Cochez « *Obtenir une adresse IP automatiquement* » pour utiliser le protocole DHCP.

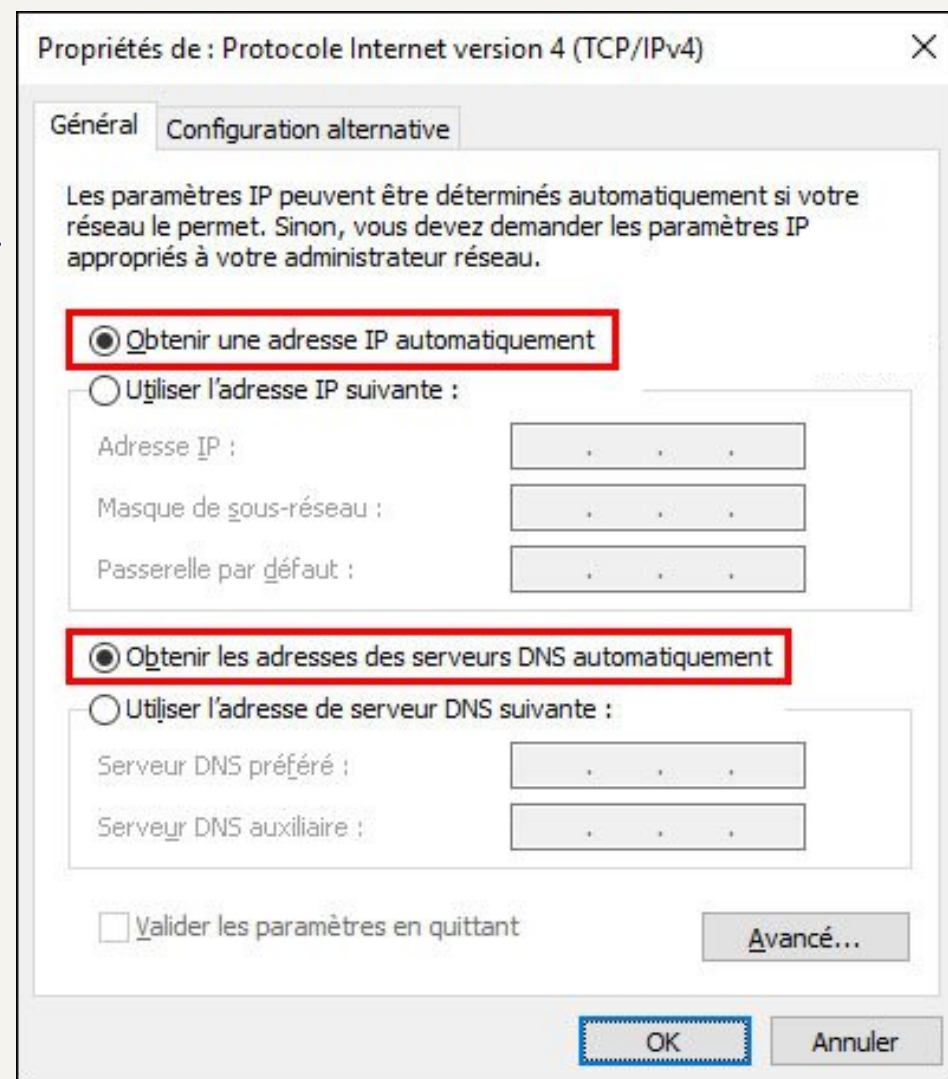
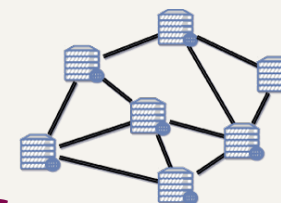


Fig 2.14 - Propriétés de 'Protocole Internet v4' sous Windows



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration dynamique

- ❖ Avec Windows 11, 10, 8.1 ou 7
 - Lien : <https://support.microsoft.com/fr-fr/windows/modifier-les-paramètres-tcp-ip-bd0a07af-15f5-cd6a-363f-ca2b6f391ace>
 - Éditez les propriétés de la connexion (interface réseau) à modifier, puis éditez les propriétés de l'élément « *Protocole Internet version 4 (TCP/IPv4)* ».
 - Cochez « *Obtenir une adresse IP automatiquement* » pour utiliser le protocole DHCP.
- ❖ Pour Windows 11, voir aussi :
 - Lien : www.malekal.com/configurer-une-adresse-ip-sous-windows-11-10-dhcp-ou-ip-fixe/

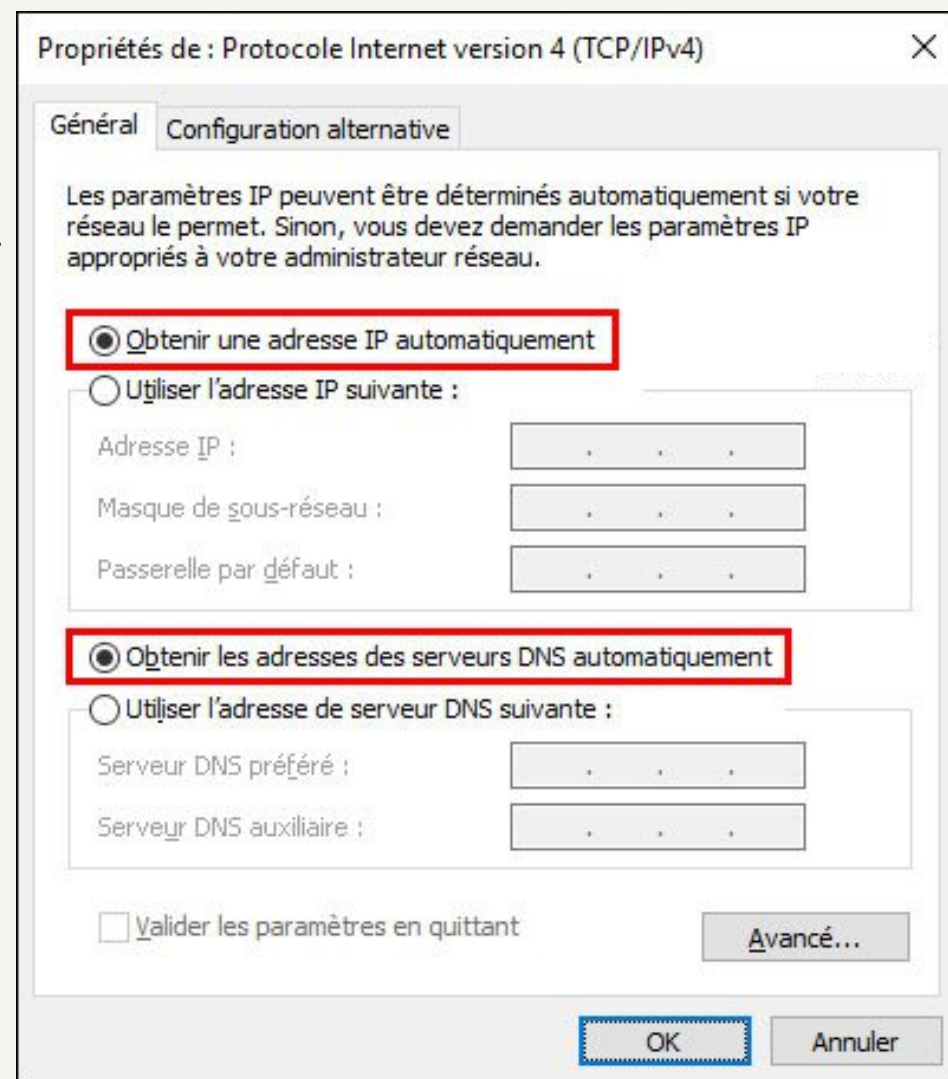
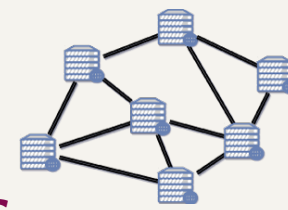


Fig 2.14 - Propriétés de 'Protocole Internet v4' sous Windows



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration dynamique

- ❖ Avec macOS
 - ▶ Lien : support.apple.com/fr-fr/guide/mac-help/mchlp2718/mac
 - ▶ Réglages système / Réseau  / Sélectionner un service de connexion puis cliquer sur *Détails...*
 - ▶ Choisir l'onglet TCP/IP, puis avec le menu déroulant « Configurer IPv4 », choisir « Via DHCP »

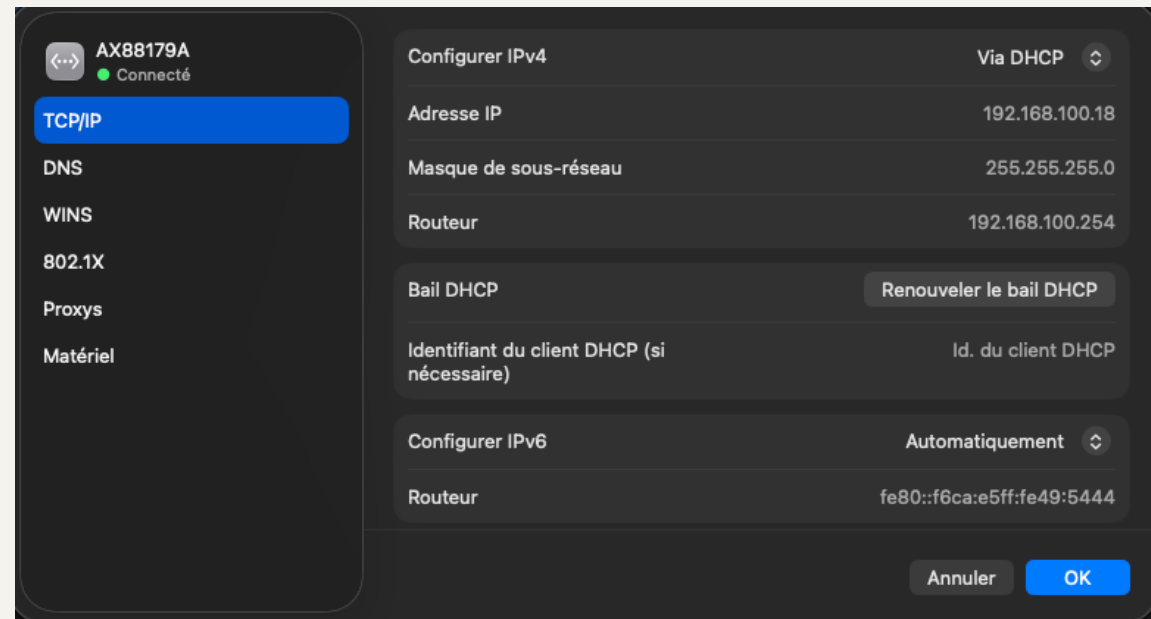
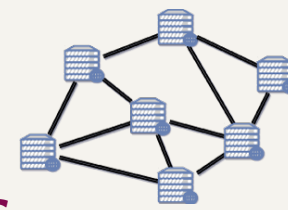


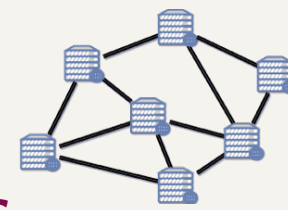
Fig 2.15 - Réglages d'un service de connexion réseau sous MacOS



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Configuration fixe

- ❖ Avec une configuration fixe, les propriétés de TCP/IP (partie adresse IP) sont réglés avec :
 - Une adresse IP
 - Masque de sous-réseau
 - Passerelle par défaut (adresse IP du routeur où seront envoyés les datagrammes hors de portée d'après le masque)
- ❖ Nota : d'autres paramètres sont également à renseigner
 - Adresses de serveurs DNS
 - ...

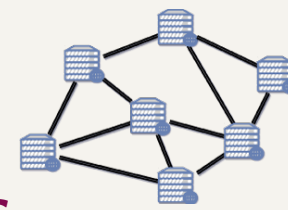


4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Commandes utiles

❖ Unix et Linux

- **ifconfig**
 - Afficher les informations des interfaces réseau IP actives
- **ifconfig -a**
 - Afficher les informations de toutes les interfaces réseau, actives ou non.
- La commande **ifconfig** est déprécié dans les dernières versions d'Unix. Elle est remplacé par la commande **ip**, si le paquet **iproute2** est installé.
- **ip addr show** ou son alias **ip a**
 - quasi-équivalent à ifconfig



4 - La couche Internet - Configuration IPv4 des hôtes

Commandes utiles

- ❖ Windows

- **ipconfig**

```
C:>ipconfig
```

```
Configuration IP de Windows
```

```
Carte réseau sans fil Connexion réseau sans fil :
```

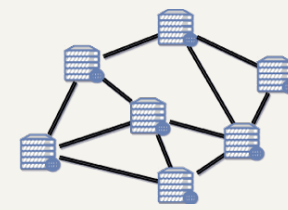
```
Statut du média. . . . . : Média déconnecté
Suffixe DNS propre à la connexion. . . :
```

```
Carte Ethernet Connexion au réseau local :
```

```
Suffixe DNS propre à la connexion. . . :
Adresse IPv6 de liaison locale. . . . :
fe80::89c9:7d53:f73:c8c4%11
Adresse IPv4. . . . . : 192.168.1.2
Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.255.0
Passerelle [[par défaut]]. . . . . : 192.168.1.1
```

- **ipconfig /all**

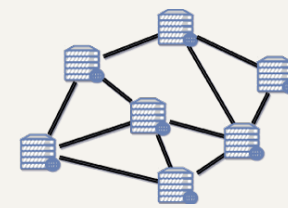
- Permet d'avoir toutes les caractéristiques des connexions réseaux : adresse IP, adresse MAC...



4 - La couche Internet - Autres protocoles

ICMP - Internet Control Message Protocol

- ❖ ICMP est le **contrôleur de la couche internet**
 - RFC 792
 - **Message de contrôle et d'erreur**
 - Communications entre routeurs
 - Signalisation de congestion
 - Mise à jour de table de routage
 - Un paquet ICMP est encapsulé dans un datagramme IP.
 - Un champ type de message (8 bits) et un champ Code d'erreur (8 bits) sont principalement utilisés. Exemples :
 - Type : 8 ; Code : 0 => demande d'écho (echo-request)
 - Type : 0 ; Code : 0 => réponse d'écho (echo-reply)
 - Type 11 : Temps dépassé (un TTL a expiré)



4 - La couche Internet - Autres protocoles

ICMP - Internet Control Message Protocol

- * La commande **ping** utilise ICMP pour mesurer des RTT, *round-trip time*.
 - RTT est le temps, mesuré en millisecondes, qu'un paquet met pour aller d'un point de départ à une destination et revenir
- * **ping** mesure, entre autres, le délai entre l'envoi d'une requête ICMP '*echo-request*' et la réponse '*réponse echo*'.
 - Cela permet d'évaluer la latence réseau.

▸ `$ ping -c3 example.com`

PING example.com (93.184.216.34): 56 data bytes

64 bytes from 93.184.216.34: icmp_seq=0 ttl=56 time=86.834 ms

64 bytes from 93.184.216.34: icmp_seq=1 ttl=56 time=86.859 ms

64 bytes from 93.184.216.34: icmp_seq=2 ttl=56 time=86.612 ms

--- example.com ping statistics ---

3 packets transmitted, 3 packets received, 0.0% packet loss

round-trip min/avg/max/stddev = 86.612/86.768/86.859/0.111 ms

RTT



RTT moyenne



écart type RTT

